

MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN EN MANTENIMIENTO EN LA COMPAÑÍA
PERENCO COLOMBIA LIMITED USANDO, INDICADORES DE CONFIABILIDAD
MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD

GIOVANNY REINEL CASTRO URREA
JAVIER LEONARDO HERNANDEZ CAGÜEÑAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BOGOTÁ
2018

MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN EN MANTENIMIENTO EN LA COMPAÑÍA
PERENCO COLOMBIA LIMITED USANDO, INDICADORES DE CONFIABILIDAD
MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD

GIOVANNY REINEL CASTRO URREA
JAVIER LEONARDO HERNANDEZ CAGÜEÑAS

Monografía de Grado presentada como Requisito para Optar por el Título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director
OSCAR ANDRÉS GONZALES
Ingeniero Electricista

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2018

DEDICATORIA

A Dios.

A mis padres Reinel Castro y Dolly Urrea por su constante apoyo y dedicación. A mis hermanos Iván y Paola por su colaboración.

A mis familiares y amigos.

Giovanny Castro.

A Dios.

A mis padres John Hernández y Amparo Cagüeñas por su constante apoyo y dedicación.

A mis hermanos Juan Carlos Hernández por su colaboración.

A mi Novia Viviana Gómez por su apoyo y constante motivación.

A mis familiares y amigos.

Javier Hernández.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia que me motivo y me apoyo para culminar esta nueva etapa de mi vida.

A mis compañeros de trabajo y jefes de Perenco Colombia LTDA que me brindaron la flexibilidad para asistir a las clases de la especialización.

A Perenco por permitirme ser parte de esa gran familia y equipo de trabajo.

Giovanny Castro.

A mi familia que me motivo y me apoyo para culminar esta nueva etapa de mi vida.

A Elvis Andrés Rodríguez quien me brindó su apoyo y experiencia, a mis jefes de Perenco Colombia LTDA que me brindaron la flexibilidad para asistir a las clases de la especialización.

A Perenco por permitirme ser parte de esa gran familia y equipo de trabajo.

Javier Leonardo Hernández.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	17
1.1 UBICACIÓN DE LA EMPRESA.....	17
1.2 MISIÓN.....	19
1.3 VISIÓN	19
1.4 ORGANIGRAMA	19
1.5 RESPONSABILIDAD SOCIAL.....	20
1.6 VALORES.....	20
2 TIPOS DE MANTENIMIENTO	21
2.1 CORRECTIVO.....	22
2.2 CORRECTIVO NO PLANIFICADO	22
2.3 CORRECTIVO PLANIFICADO	23
2.4 RESTAURATIVO.....	23
2.5 MEJORATIVO	24
2.6 PREVENTIVO	24
2.7 PREDICTIVO.....	24
2.8 PROACTIVO	26
3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	27
3.1 CRITICIDAD.....	28
3.2 CRITICIDAD ALTA	29
3.3 CRITICIDAD MEDIA.....	29
3.4 CRITICIDAD BAJA	29
3.5 JERARQUÍA DE EQUIPO O ACTIVOS.....	29
4 MODOS DE FALLA	31
5 DISPONIBILIDAD	32
6 MANTENIBILIDAD	34
7 CONFIABILIDAD	35
8 MODOS DE FALLA	36
9 EQUIPOS OBJETO DE ESTUDIO	37
9.1 CONTEXTUALIZACIÓN CASO DE ESTUDIO	37
9.2 LISTADO DE EQUIPOS	39
9.3 MATRIZ CRITICIDAD DE EQUIPOS EN PERENCO	50
9.4 MATRIZ CRITICIDAD DE EQUIPOS EN CAMPO TRINIDAD.....	52
9.5 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PERENCO.....	55
9.6 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	56
9.7 PROCESO DE MANTENIMIENTO.....	58
10 GESTIÓN DE MALOS ACTORES	61
10.1 METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE MALOS ACTORES	61

10.2	CÁLCULO DE INDICADORES DE EFECTIVIDAD DE MANTENIMIENTO EN SAP	62
10.3	INDICADORES DE EFECTIVIDAD DE MANTENIMIENTO	63
10.4	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD	77
10.5	IDENTIFICACIÓN DE MALOS ACTORES	81
10.6	ANÁLISIS CAUSA RAÍZ MALOS ACTORES	102
10.7	IMPLEMENTACIÓN DE RECOMENDACIONES	105
11	CONCLUSIONES	106
	BIBLIOGRAFÍA	108
	ANEXOS.....	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Geográfica.....	18
Figura 2. Organigrama de Mantenimiento.	19
Figura 3. Acciones Reactivas y Proactivas.	21
Figura 4. Matriz de Criticidad.	27
Figura 5. Jerarquía Típica.	30
Figura 6. Localización Campo Trinidad- Casanare	37
Figura 7. Operación de Estación Trinidad Perenco	38
Figura 8. Proceso de Tratamiento de Agua	39
Figura 9. Motobomba National J375- Campo Trinidad	40
Figura 10. Especificaciones Técnicas Bomba National	41
Figura 11. Generador Caterpillar Campo Trinidad.....	43
Figura 12. Generador Caterpillar Vista Isométrica.....	43
Figura 13. Generador Caterpillar- Vista de Corte	44
Figura 14. Generador Caterpillar- Sistemas y Componentes	44
Figura 15. Especificaciones Técnicas Generador Caterpillar	45
Figura 16. Factores de Degradación de Altitud.....	47
Figura 17. Factores de Rechazo de Calor	47
Figura 18. Curva de Rendimiento a Alto Regimen de Velocidad	48
Figura 19. Curva de Rendimiento a Bajo Regimen de Velocidad	49
Figura 20. Matriz Criticidad Perenco.....	51
Figura 21. Matriz Criticidad Perenco Especifico Campo Trinidad	54
Figura 22. Funciones Estructura Mantenimiento.....	55
Figura 23. Planes de Mantenimiento Equipos	57
Figura 24. Proceso de Ordenes de Mantenimiento.....	58
Figura 25. SAP empleado en proceso Mantenimiento Perenco.....	59
Figura 26. Transacción SAP MC17.....	60
Figura 27. Flujo de Proceso de Orden de Mantenimiento.....	60
Figura 28. Proceso Gestión Malos Actores.....	61
Figura 29. Cálculo de MTBR en SAP.....	62
Figura 30. Cálculo de MTTR en SAP	63
Figura 31. MTTR 2015.....	65
Figura 32. MTBR 2015.....	66
Figura 33. Pareto Fallas 2015.....	67
Figura 34. MTTR vs MTBR 2015	68
Figura 35. MTTR 2016.....	69
Figura 36. MTBR 2016.....	70
Figura 37. Pareto Fallas 2016.....	71
Figura 38. MTTR vs MTBR 2016	72
Figura 39. MTTR 2017	73
Figura 40. MTTR 2017	74
Figura 41. Pareto Paradas 2017	75
Figura 42. MTTR vs MTBR 2017	76

Figura 43. Transacción SAP Análisis Paradas	81
Figura 44. SAP: Listado Básico Paradas	82
Figura 45. SAP: Desglose Paradas	82
Figura 46. Malos Actores Bombas J375-1	84
Figura 47. Malos Actores Bombas J375-2	86
Figura 48. Malos Actores Bombas J375-3	87
Figura 49. Malos Actores Bombas J375-4	88
Figura 50. Malos Actores Bombas J375-5	89
Figura 51. Malos Actores Bombas J375-6	90
Figura 52. Malos Actores Bombas J375-7	91
Figura 53. Malos Actores Bombas J375-8	92
Figura 54. Malos Actores Generador Caterpillar 3516-5.....	93
Figura 55. Malos Actores Generador Caterpillar 3516-6.....	94
Figura 56. Malos Actores Generador Caterpillar 3516-10.....	95
Figura 57. Malos Actores Bombas	96
Figura 58. Malos Actores Bombas Consolidado	99
Figura 59. Malos Actores Generadores Consolidado	101

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Costos de Reparación.....	50
Tabla 2. HSQ	50
Tabla 3. Perdidas BOPD.....	50
Tabla 4. MTTR	51
Tabla 5. Flexibilidad	51
Tabla 6. Costos de Reparación Campo Trinidad	52
Tabla 7. HSQ Campo Trinidad.....	52
Tabla 8. Perdidas BOPD Campo Trinidad	52
Tabla 9. MTTR Campo Trinidad.....	52
Tabla 10. Flexibilidad Campo Trinidad.....	53
Tabla 12. Calificación Criticidad Equipos Campo Trinidad	54
Tabla 13. Reporte de MTTR y MTBR generado por SAP	64
Tabla 14. Cálculo Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad 2015	78
Tabla 15. Cálculo Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad 2016	79
Tabla 16. Cálculo Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad 2017	80
Tabla 17. Reporte de Fallas exportado a Excel	83
Tabla 18. Fallas Bomba J375-1	83
Tabla 19. Fallas Bomba J375-2	85
Tabla 20. Fallas Bomba J375-3	87
Tabla 21. Fallas Bomba J375-4	88
Tabla 22. Fallas Bomba J375-5	89
Tabla 23. Fallas Bomba J375-6	90
Tabla 24. Fallas Bomba J375-7	91
Tabla 25. Fallas Bomba J375-8	92
Tabla 26. Falla Generador 3516-5.....	93
Tabla 27. Falla Generador 3516-6.....	94
Tabla 28. Falla Generador 3516-10.....	95
Tabla 29. Listado General Malos Actores Bombas National.....	97
Tabla 30. Listado Consolidado Malos Actores Bomba National.....	98
Tabla 31. Listado Consolidado Malos Actores Generador Caterpillar.....	100
Tabla 32. Análisis Causas Desgaste Válvulas	102
Tabla 33. Análisis Causas Fugas en Sellos	103
Tabla 34. Análisis Causas Daño Baterías.....	103
Tabla 35. Análisis Causas Daño de Turbo.....	104

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Reporte MTTR-MTBR 2015	111
Anexo B. Reporte MTTR-MTBR 2016	113
Anexo C. Reporte MTTR-MTBR 2017	116
Anexo D. Reporte Fallas J375-1	118
Anexo E. Reporte Fallas J375-2	119
Anexo F. Reporte Fallas J375-3	120
Anexo G. Reporte Fallas J375-4.....	121
Anexo H. Reporte Fallas J375-5.....	122
Anexo I. Reporte Fallas J375-6.....	123
Anexo J. Reporte Fallas J375-7.....	124
Anexo K. Reporte Fallas J375-8	125
Anexo L. Reporte Fallas Caterpillar 3516-5.....	126
Anexo M. Reporte Fallas Caterpillar 3516-6	127
Anexo N. Reporte Fallas Caterpillar 3516-10	128

RESUMEN

TÍTULO: MEJORAMIENTO DE LA GESTION EN MANTENIMIENTO EN LA COMPAÑÍA PERENCO COLOMBIA LIMITED, USANDO INDICADORES DE CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD.*

AUTORES: GIOVANNY REINEL CASTRO URREA y JAVIER LEONARDO HERNANDEZ CAGÜEÑAS.†

PALABRAS CLAVES: Mantenibilidad, confiabilidad, disponibilidad, indicadores de gestión, análisis de criticidad.

DESCRIPCION:

Esta Monografía se plantea teniendo en cuenta que en la actualidad la gestión de Mantenimiento de la empresa está enfocada al mantenimiento correctivo y preventivo del día a día, por este motivo se plantea mejorar la gestión del departamento de Mantenimiento en la compañía identificando los equipos mecánicos que presentan la mayor cantidad de falla, que están generando mayores costos de mantenimiento, pérdidas de producción y posibles daños al medio ambiente o al personal.

Basados en los conceptos de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad, se identificarán los equipos y componentes críticos de la estación de producción de Trinidad ubicada en el campo de Casanare operado por PERENCO COLOMBIA LIMITED, utilizando información real recopilada en el software de mantenimiento de la empresa (SAP), se clasificarán los equipos según su criticidad teniendo en cuenta la matriz inicial de criticidad, con lo anterior se podrá identificar donde se debe enfocar los recursos con los que cuenta la empresa para obtener un impacto positivo en la gestión del departamento de Mantenimiento.

A través de la información obtenida por SAP de los equipos críticos se realizará la identificación de malos actores, los cuales se gestionarán para determinar cuáles con las posibles causas raíz de las diferentes problemáticas y generar recomendaciones para la implementación de mejoras que impacten de manera positiva los indicadores de gestión de mantenimiento del Campo Trinidad.

* Monografía

† Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Especialización en Gerencia de mantenimiento. Director: Ing. Oscar Andrés Gonzales. Ingeniero Electricista.

SUMMARY

TITLE: IMPROVEMENT OF THE MAINTENANCE MANAGEMENT OF THE COMPANY PERENCO COLOMBIA LIMITED USING RELIABILITY, MAINTAINABILITY AND AVAILABILITY INDICATORS. *

AUTHORS: GIOVANNY REINEL CASTRO URREA y JAVIER LEONARDO HERNANDEZ CAGÜEÑAS.†

KEY WORDS: Maintainability, reliability, availability, management indicators, criticality analysis.

SUBJECT:

This Monograph is considered taking into account that currently maintenance management of the company is focused on the corrective and preventive maintenance of day to day, for this reason it is proposed to improve management of the Maintenance Department in company by identifying mechanical equipment that present the greatest amount of failure, which are generating higher maintenance costs, production losses and possible damage to the environment or staff.

Based on the concepts of Reliability, Maintainability and Availability, the critical equipment and components of the Trinidad production station located in the Casanare field operated by PERENCO COLOMBIA LIMITED will be identified, using real information collected in the company's maintenance software (SAP), the teams will be classified according to their criticality taking into account the initial criticality matrix, with above it will be possible to identify where the resources with which company has to focus should be focused in order to obtain a positive impact in management of Maintenance department.

Through the information obtained by SAP from critical teams, the identification of bad actors will be carried out, which will be managed to determine which with possible root causes of different problems and generate recommendations for the implementation of improvements that positively impact the maintenance management indicators of the Campo Trinidad.

* Monograph

† Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director: Ing. Oscar Andrés Gonzales. Electrical Engineer.

INTRODUCCIÓN

Perenco Colombia Limited es una empresa del sector de hidrocarburos, su principal actividad es la extracción de crudo y gas, por lo que cuenta con varios equipos electromecánicos en las facilidades de producción por garantizar la separación y el tratamiento de estos elementos.

Para garantizar una producción estable el departamento de mantenimiento ha implementado programas en los equipos electromecánicos, y busca mejorar la actividad del departamento encontrando una estrategia donde se lleven datos estadísticos, para poder disponer mejor los recursos, obteniendo mejoras en las pérdidas de producción, reducción de costos, minimizar en el impacto ambiental y trabajar de una manera segura.

Los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad son una herramienta muy importante para la mejora de la gestión en el departamento de mantenimiento, esto es posible llevando un histórico de datos para poder cuantificar el comportamiento de los equipos en la operación de la empresa, y con esos resultados actuar sobre las tareas de mantenimiento.

Actualmente el departamento cuenta con SAP PM, este programa se está alimentado constantemente con datos reales suministrados por el personal operativo. Con esta herramienta inicia el mejoramiento de la gestión en mantenimiento porque podemos tener información y obtener los indicadores CMD, ya que en la interpretación de estos indicadores nos enfocaremos en la toma de decisiones para favorecer en el desarrollo de la compañía con la reducción de costos de mantenimiento y la minimización de pérdidas de producción.

Entre lo que se quiere proyectar es el paso del mantenimiento correctivo a un mantenimiento planeado y un mantenimiento predictivo, para situar a la empresa en un nivel más alto, generando conciencia en la importancia del departamento de mantenimiento en la organización para poder lograr las metas trazadas.

1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Perenco Colombia Limited es una subsidiaria local de la empresa de petróleo y gas anglo francesa PERENCO con sede en Bogotá, que comenzó a operar en 1993 en la cuenca de los Llanos Orientales. En 2014, la empresa aumento sus activos en Colombia, incluyendo intereses en 11 bloques de exploración y producción, y participación en los oleoductos Colombia y Alto Magdalena. Perenco Colombia Limited opera ocho acuerdos de asociación, incluidos tres contratos con la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) sobre los bloques Oropéndola, Cerrero y Balay; y el contrato de asociación Boquerón en el Departamento de Tolima; y participa en contratos de no-operación en fase de exploración o producción. En 2017, la producción de Perenco Colombia alcanzó los 25.000b/d.¹

1.1 UBICACIÓN DE LA EMPRESA

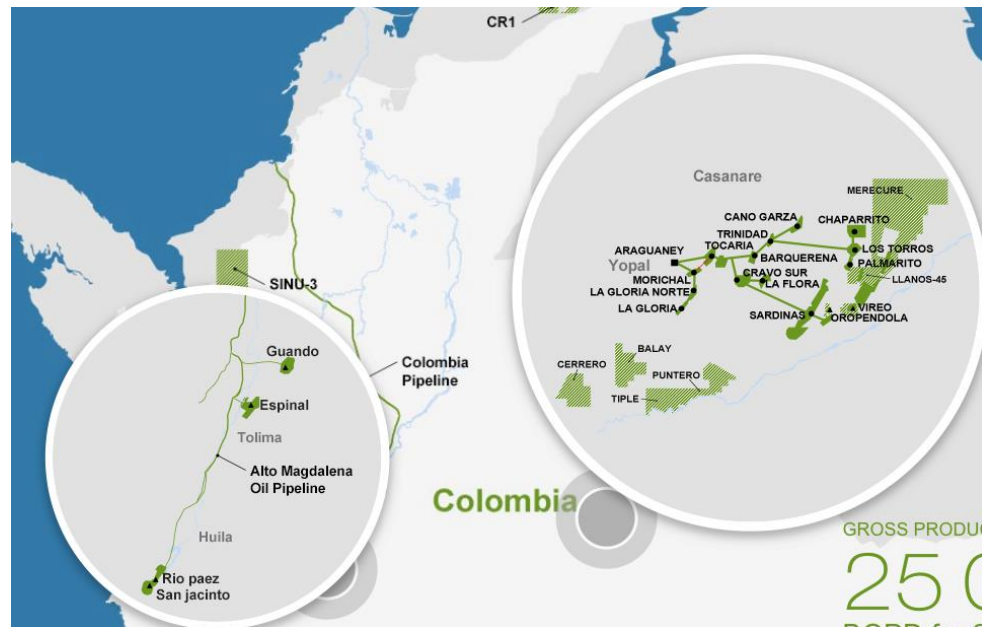
PERENCO actualmente opera en dos departamentos de Colombia Casanare y Tolima como se muestra en la figura 1. En Casanare, Perenco es el operador de una gran cantidad de contratos que incluyen cinco contratos de asociación: (Casanare, Estero, Garcero, Corocora, Orocue), tres contratos ANH (bloques Oropendola, Balay y Cerrero) y un contrato de concesión (Yalea).

En Tolima, Perenco es el operador del contrato de asociación de Boquerón. Guando es uno de los tres mayores descubrimientos realizados en Colombia en los últimos 15 años. Perenco participa en siete contratos no operados en fases de exploración y producción, tres en Casanare (bloques Tiple, Puntero y Merecure), dos en Huila (bloques San Jacinto y Río Páez), uno en Córdoba (bloque Sinu-3) en la fase de exploración, uno en La Guajira (bloque CR-1) en la fase de exploración El éxito operacional de Perenco en Colombia proviene de desarrollar campos aislados, tanto en Tolima como en Casanare, e integrarlos en una sola operación. Perenco ha logrado hacer que estos sitios remotos sean económicos al racionalizar los costos

¹ [Consultado mayo 2018] Disponible en: <https://www.bnamericas.com/company-profile/es/perenco-colombia-ltda-perenco-colombia>

operativos y al desarrollar programas sociales con más de 100 aldeas y 14 municipios donde más de 10,000 familias se han beneficiado directamente de las oportunidades laborales, la mejora de la atención médica, educación, infraestructura y proyectos sostenibles; esto representa una inversión de \$ 6 millones por parte de la compañía solo durante 2014. La campaña de perforación de 2014 incluyó siete pozos de desarrollo y cuatro pozos de exploración (Katmandú Norte -1, Chácharo-1, Zamuro-1, Uraca-1), así como más de 100 intervenciones de pozos (incluyendo, optimización de producción, aceite detrás de la tubería de revestimiento, ESP / Cambios y estimulaciones de PCP). En total, estos pozos han agregado cerca de 10.500 bpd a través de la optimización de la producción. Desde que recibió la comercialización del campo Guando South West de Ecopetrol (la empresa estatal colombiana), Perenco ha completado con éxito su primera fase de perforación de desarrollo.²

Figura 1. Ubicación Geográfica.



Fuente: <http://www.perenco-colombia.com>

² [Consultado mayo 2018] Disponible en: <http://www.perenco-colombia.com>

1.2 MISIÓN

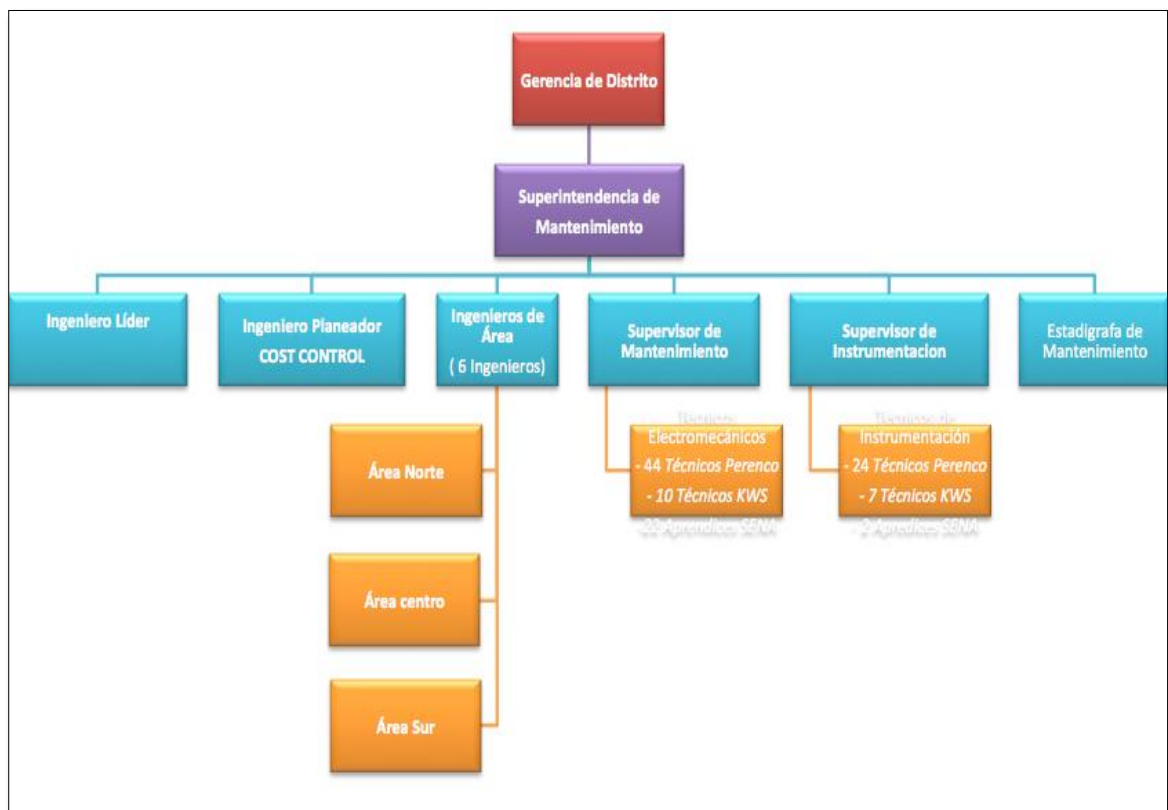
Producir de manera responsable el recurso petrolero de Colombia en beneficio y armonía de los empleados, las comunidades y el medio ambiente.

1.3 VISIÓN

Nos comprometemos a ser una empresa que desarrolla sus operaciones y reservas, eficientemente, sin derrames ni accidentes.

1.4 ORGANIGRAMA

Figura 2. Organigrama de Mantenimiento.



1.5 RESPONSABILIDAD SOCIAL

PERENCO Colombia está desarrollando programas de apoyo para el mejoramiento de las instituciones educativas de las áreas de influencia, con el aporte de 1,000 pupitres y 1,000 kits escolares, para que los niños puedan tener mejores condiciones y desempeño en su desarrollo académico.

PERENCO desarrolla el proyecto de salud visual denominado "OJOS CON CORAZON", el cual consiste en brindar un servicio totalmente gratuito de optometría y entrega de lentes, dirigido a los adultos mayores de las comunidades más lejanas del Casanare donde hace presencia la empresa, con el compromiso de mejorar sus condiciones de salud visual. El proyecto ha beneficiado a más de 400 personas vinculadas a 15 veredas de nuestros municipios de influencia.

Para PERENCO constituye una gran motivación el hecho de trabajar por Casanare y sus comunidades, impulsando el desarrollo de toda la región. Con este propósito se han ejecutado obras de infraestructura tales como: puentes, vías, alcantarillas, caminos vecinales, entre otras, las cuales se ejecutan mancomunadamente con las comunidades y administraciones municipales, teniendo en cuenta de forma prioritaria, la mano de obra local. El aporte de la compañía al brindar oportunidades de empleo es vital para el desarrollo de las comunidades y contribuye de manera muy efectiva a fortalecer las políticas de alianzas con la región.

1.6 VALORES

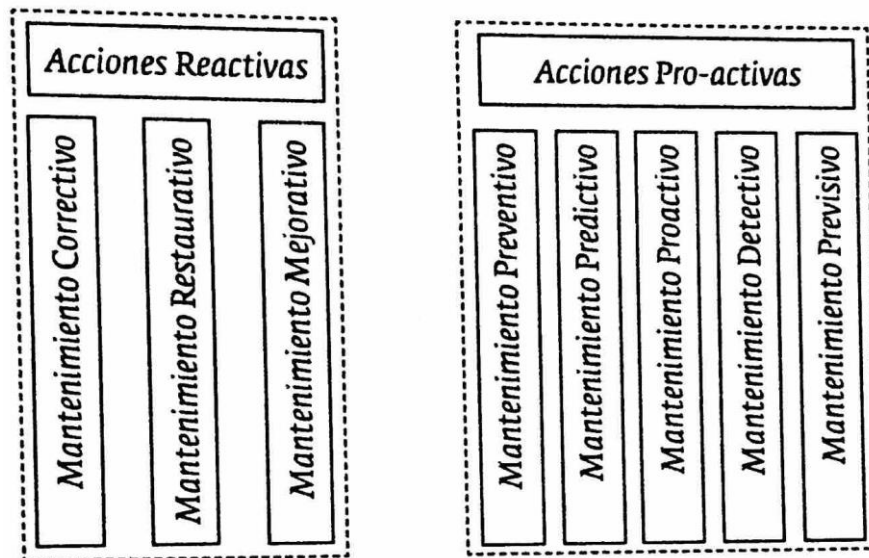
- Logramos resultados operando con calidad y buscamos desarrollo personal.
- Estamos comprometidos y orgullosos de nuestra empresa.
- Somos éticos y responsables de nuestras obligaciones.
- Somos creativos e innovadores.
- Apoyamos el desarrollo sostenible de la comunidad, respetamos la identidad y diversidad cultural.
- Estamos comprometidos con nuestra seguridad.
- Respetamos el medio ambiente.

2 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Los tipos de mantenimiento tiene la misma finalidad, evitar fallas en los equipos para mantenerlos cumpliendo la función para la cual fueron construidos, a excepción de mantenimiento correctivo, el cual tiene como finalidad corregir las fallas que no se pudieron evitar, con el fin de regresar el equipo a condiciones óptimas de funcionamiento.

Los nombres que se tienen para identificar los distintos tipos de mantenimiento son variados y establecer la diferencia entre estos es muy difícil, por esta razón es conveniente dividirlos en dos grupos, los tipos de mantenimiento que solo hacen tareas reactivas y los que se centran en la ejecución de tareas proactivas.

Figura 3. Acciones Reactivas y Proactivas.



Fuente: Pistarelli, A.

2.1 CORRECTIVO

Se puede clasificar como una acción reactiva no programada, centrándose en la reparación de averías o fallas funcionales a medida que van apareciendo. Este tipo de mantenimiento requiere una alta disponibilidad de mano de obra e incrementa el número de equipos en paralelo (stand-by)³.

Con este tipo de mantenimiento se dificulta la elaboración de presupuestos y aunque no requiere de planeación, en ocasiones las paradas repentinas generan altos sobrecostos de mantenimiento, riesgos de seguridad y demoras críticas en la operación.

2.2 CORRECTIVO NO PLANIFICADO

Consiste en la reparación de averías o fallos funcionales a medida que se van produciendo, normalmente se utiliza en sistemas complejos, con componentes electrónicos o en aquellos donde no es posible prever fallas, y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la seguridad.

Un inconveniente en este tipo de mantenimiento es que debe preverse un capital inmovilizado y disponible para las piezas y elementos de repuesto, visto que la adquisición de los mismos puede no ser resuelta con rapidez, y requiere de una gestión de compra y entrega que no coincide con los tiempos reales para poner en marcha nuevamente los equipos en el más corto tiempo posible, con el agravante que puedan ser piezas discontinuadas, importadas o que ya no se fabriquen más.⁴

³ Un equipo Stand-by es aquel que se encuentra a la espera de que el equipo principal falle para poder entrar en operación

⁴ [Consultado Mayo 2018] Disponible en:

http://www.construmatica.com/construpedia/Mantenimiento_Correctivo

2.3 CORRECTIVO PLANIFICADO

El mantenimiento correctivo planificado prevé lo que se hará antes que se produzca el fallo, de manera que cuando se detiene el equipo para efectuar la reparación, ya se dispone de los repuestos, de los documentos necesarios y del personal técnico asignado con anterioridad en una programación de tareas. Al igual que el anterior, corrige la falla y actúa ante un hecho cierto.

Este tipo de mantenimiento difiere del no planificado en que se evita ese grado de apremio del anterior, porque los trabajos han sido programados con antelación.

Para llevarlo a cabo se programa la detención del equipo, pero previo a ello, se realiza un listado de tareas a realizar sobre el mismo y programamos su ejecución en dicha oportunidad, aprovechando para realizar toda reparación, recambio o ajuste que no sería factible hacer con el equipo en funcionamiento.

Suele hacerse en los momentos de menor actividad, horas en contra turno, períodos de baja demanda, durante la noche, en los fines de semana, períodos de vacaciones, etc.⁵

2.4 RESTAURATIVO

Se clasifica como una acción reactiva programada y surge de actividades de mantenimiento proactivo, las cuales detectan parámetros de operación fuera de rango sin que se haya producido la falla funcional, permitiendo programar las correcciones con cierta anticipación.

⁵ [Consultado Mayo 2018] Disponible en:
http://www.construmatica.com/construpedia/Mantenimiento_Correctivo

2.5 MEJORATIVO

Al igual que el mantenimiento restaurativo, también se clasifica como una acción reactiva programada que tiene dos objetivos principales: el primero es optimizar los procesos productivos eliminando fallas crónicas, haciendo rediseños de procesos operativos o rediseños en los equipos; el segundo objetivo es trabajar conjuntamente con los fabricantes de equipos, para probar nuevos desarrollos de componentes, sistemas, procesos o programas de mantenimiento.

2.6 PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo es una actividad planeada que se realiza para asegurar la disponibilidad y confiabilidad de un equipo, donde se define la disponibilidad como la probabilidad de tener un equipo con la capacidad de funcionar siempre que sea requerido. La confiabilidad es la probabilidad que el equipo funcione un tiempo.

El mantenimiento preventivo es el que realizamos de manera anticipada con el fin de prevenir el surgimiento de averías que pueden ocasionar paradas de equipos que producen pérdidas de producción.

En el mantenimiento preventivo se desarrollan actividades como ajustes, limpiezas, lubricación, calibración, cambio de piezas y toma de parámetros entre otras. Estas actividades son las que permiten establecer el estado del equipo y así evitar posibles fallas inesperadas.

2.7 PREDICTIVO

Es un conjunto de actividades destinadas a mantener el equipo en su condición de operación normal, basado en predecir la falla en un equipo antes de que esta se produzca, escogiendo como momento de intervención el estado más próximo a la falla, la cual se logra mediante monitoreo. Este tipo de mantenimiento es la mejor

forma de impedir que suceda una falla o en todo caso, minimizar su ocurrencia y efectos negativos.⁶

Los requerimientos de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad que la industria exige a los equipos, hacen necesario que se busquen y evalúen todas las herramientas que garanticen la disminución de los tiempos muertos por paradas no programadas. El mantenimiento predictivo mide parámetros que dan indicios del deterioro progresivo o muestra los síntomas prematuros antes de la falla de un equipo o de sus componentes. Así mismo el mantenimiento preventivo no busca evitar el desgaste normal que sufren los componentes, pero si logra disminuir las consecuencias de una falla repentina.

Con este tipo de mantenimiento es posible detectar síntomas prematuros de desperfectos o desajustes tiempo antes que aparezca la condición de falla no deseada.

Utilizando herramientas tecnológicas adecuadas se monitorea el estado de los componentes que “avisan”, midiendo los parámetros de funcionamiento e identificando los valores fuera de rango, con el fin de predecir el tiempo de vida útil remanente.

Algunas de las tecnologías utilizadas para hacer mantenimiento predictivo son:

- Análisis de Vibraciones.
- Termografía infrarroja.
- Análisis de amperaje.
- Emisión acústica.
- Análisis de partículas de desgaste

⁶ Suárez, D. “**Mantenimiento Mecánico. Guía Teórico-Práctico**”. Primera Edición. Departamento de Mecánica. Universidad de Oriente, Venezuela. (2001).

2.8 PROACTIVO

Al igual que el mantenimiento predictivo, consiste en monitorear ciertos parámetros de operación en componentes críticos antes de realizar una intervención. Pero su objetivo principal es establecer la causa raíz que ocasiona la falla de los componentes monitoreados, una de las técnicas más utilizadas es la tribología⁷, con la cual se identifican valores fuera de rango en el análisis de lubricantes, permitiendo tomar acciones restaurativas para evitar el desgaste de los equipos y aumentar su vida útil.

Algunos ejemplos de mantenimiento proactivo son:

- Monitoreo de contaminantes en lubricantes
- Conteo de partículas
- Alineación y balanceo de equipos rotativos

Monitoreo de acidez y viscosidad en lubricantes

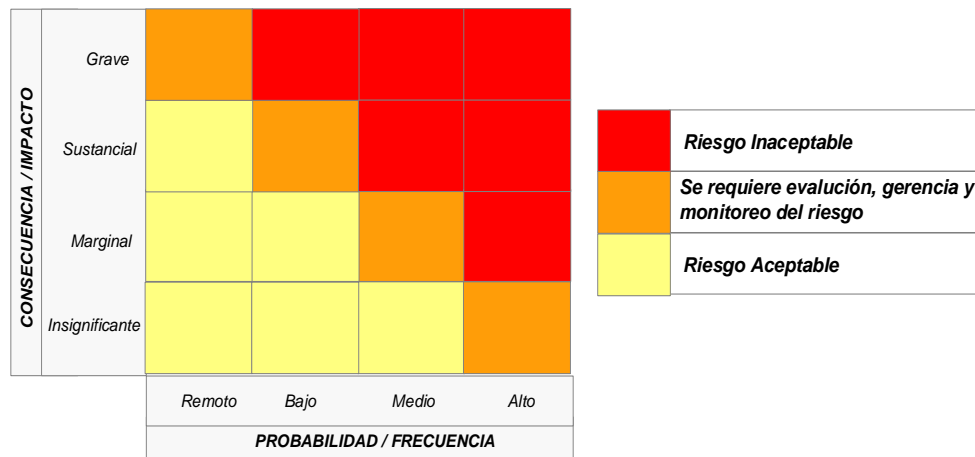
⁷ Ciencia que estudia la fricción, el desgaste y la lubricación

3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones, equipos y dispositivos, en función de su impacto en los procesos productivos, financieros, ambientales y de afectación a la comunidad, con el fin de facilitar la toma de decisiones acertadas y efectivas. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y un propósito para establecer los criterios de evaluación, así se selecciona el método de evaluación para realizar la matriz de los sistemas o equipos que son objeto de análisis.

El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo en la cual se establecen rangos relativos para representar la frecuencia de ocurrencia de eventos y sus consecuencias. Par esto se realiza un matriz donde se registran la frecuencia y las posibles consecuencias, esta matriz se elabora con un código de colores que identifican la menor o mayor intensidad de criticidad.

Figura 4. Matriz de Criticidad.



Fuente: Norma NORZOK Z-013 – “Risk and Emergency Preparedness Analysis”

Con los resultados del análisis de criticidad se direcciona el recurso humano y material al área más importante y que requiera mayor atención, para mejorar su confiabilidad y disminuir el impacto negativo en la organización. Se puede determinar el nivel de criticidad en un tiempo de trabajo específico, debido a los modos de falla con una determinada categoría de severidad.

3.1 CRITICIDAD

La criticidad se puede asociar a una decisión o un evento que se ve expresado comúnmente por la siguiente ecuación:

$$C(t) = F(t) \times C(t)$$

Donde:

C(t): Criticidad

P(t): Frecuencia

C(t): Consecuencias

Al evaluar un evento es necesario cuantificar la frecuencia de ocurrencia y las posibles consecuencias en cada uno de los escenarios que puedan llevar a la ocurrencia del evento en evaluación.

La criticidad se emplea en el proceso de toma de decisiones como una herramienta que va a permitir optimizar los recursos humanos y materiales para los planes de mantenimiento. Enfocados en disminuir el riesgo de la operación, mejorando la confiabilidad y disponibilidad de los equipos o dispositivos utilizados en los procesos.

La clasificación de criticidad está dada de acuerdo con el grado de severidad.

3.2 CRITICIDAD ALTA

Se puede definir alta criticidad cuando se causan daños mayores a los equipos, dispositivos o lesiones severas al personal. Estos eventos generan paradas de planta o incapacidades del personal que son pérdidas económicas para la compañía.

3.3 CRITICIDAD MEDIA

La mediana criticidad se puede considerar como las fallas que pueden causar lesiones menores, daños menores en equipos y dispositivos, o que induzcan daños menores al sistema que puedan causar retrasos, pérdida de disponibilidad o baja eficiencia del sistema.

3.4 CRITICIDAD BAJA

La criticidad baja la podemos definir como las fallas que no causan lesiones al personal, ni daños a equipos, dispositivos o al sistema. Sin embargo, estas pueden generar actividades de mantenimiento no programado o reparaciones.

3.5 JERARQUÍA DE EQUIPO O ACTIVOS.

La jerarquía de los equipos define la cantidad de equipos y componentes que se tienen en un sistema o instalación, se hace agrupando equipos y sistemas en principales y secundarios según su función e importancia preestablecidos en el proceso.

Figura 5. Jerarquía Típica.



Fuente: El Análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional⁸

En una instalación o planta puede verse sistemas sencillos o complejos dependiendo de los equipos que se tengan asociados a la operación, a su vez cada equipo puede tener dispositivos asociados. Con lo anterior tenemos que a medida que descendemos en la jerarquización será más complejo por en número de elementos que se deben considerar.

⁸ [Consultado mayo 2018] Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>

4 MODOS DE FALLA

Una falla es la consecuencia de la aparición de un modo de falla, y solo se obtienen buenos resultados, perdurables en el tiempo, si se hace un correcto análisis y tratamiento de estos modos de falla.

Las causas de falla pueden ser distintas para un mismo componente, ya que este puede fallar por distintas causas (golpeado, desgastado, no lubricado, fatigado, etc.) y en cada caso la estrategia de manejo de la causa de falla es diferente y por lo tanto es común que para un elemento haya tareas predictivas, preventivas y en muchos casos correctivas.

Tipos de fallas

- **Falla funcional:** cuando el componente deja de satisfacer completamente la función requerida
- **Falla simultanea:** se da cuando la protección o respaldo de un equipo se encuentra en falla y la función que protege, también entra en falla
- **Falla sintomática o potencial:** es una falla en los componentes o sus propiedades, que indican que una falla funcional esta próxima a ocurrir.
- **Falla recurrente:** son las fallas funcionales recurrentes, que están fuera de la frecuencia de ocurrencia establecida como aceptable.

5 DISPONIBILIDAD

Es la confianza que se tiene de un componente, equipo o sistema para que desempeñe su función básica satisfactoriamente en un periodo de tiempo establecido bajo unas condiciones de operación. Se expresa como porcentaje de tiempo en el que el sistema está listo para operar o producir.

La Disponibilidad puede ser medida de varias formas, de acuerdo con lo propuesto en el Modelo Universal e Integral, de acuerdo con el propósito que se tenga en su medición, es decir de acuerdo a quién tenga interés en los datos. De esta forma, la Confiabilidad a calcular puede ser la Genérica o de “Steady state”, la Confiabilidad Inherente o Intrínseca, la Confiabilidad Alcanzada, la Confiabilidad Operacional o la Confiabilidad Operacional Generalizada.⁹

Disponibilidad Inherente: Excluye las paradas por Mantenimientos Preventivos, demoras en suministros, y demoras administrativas, y es definida como:

$$A_i = \text{MTBF}/(\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

En donde:

A_i = Disponibilidad Inherente

MTBF=Mean Time Before Failure en español Tiempo Medio entre Fallas (TMEF)

MTTR= Mean Time To Repair en español Tiempo Medio para Reparar (MTTR)

Disponibilidad Lograda: Se define a través de la siguiente ecuación:

$$A_a = \text{MTBM}/(\text{MTBM} + \text{MDMT})$$

En donde:

A_a = Disponibilidad Lograda

MTBM=Mean Time Between Maintenance en español Tiempo Medio entre Mantenimiento (TMEM)

⁹ Monografía ESTUDIO DE CONFIABILIDAD Y VULNERABILIDAD DE LAS BOMBAS DE TRES TORNILLOS MARCA IMO, QUE SE ENCUENTRAN INSTALADAS EN EL OLEODUCTO APIAY – ALTOS EL PORVENIR, DE LA VICEPRESIDENCIA DE TRANSPORTE DE ECOPETROL S. A.

MDMT= Mean Downtime for Maintenance en español Tiempo de Inactividad para Mantenimiento

Disponibilidad Operacional: Se define a través de la siguiente ecuación:

$$A_o = \text{MTBM}/(\text{MTBM} + \text{MDT})$$

En donde:

A_o= Disponibilidad Operacional

MTBM=Mean Time Between Maintenance en español Tiempo Medio entre Mantenimiento (TMEM)

MDT=Mean Down Time en español Tiempo Medio de Inactividad

6 MANTENIBILIDAD

La mantenibilidad se define como “la probabilidad de que un equipo pueda ser puesto en condiciones operacionales en un período de tiempo dado, cuando el mantenimiento es efectuado de acuerdo a unos procedimientos preestablecidos”.¹⁰ La mantenibilidad debe ser un objetivo desde el inicio de funcionamiento del equipo, para reducir las necesidades futuras de mantenimiento, de esta manera se pueden minimizar los efectos posteriores de mantenimiento y otros inconvenientes; la mantenibilidad es responsabilidad de toda la organización desde el departamento de compras pasando por proyectos hasta el departamento de Operaciones y Mantenimiento, ya que los factores a tener en cuenta son; tiempo oportuno para inicio de reparación, tiempo final de reparación, número total de reparaciones relacionadas con el total horas de reparación, el tiempo previsto para la reparación, facilidades de mantenibilidad y disponibilidad de repuestos.

¹⁰BORRÁS PINILLA, Carlos. Principios de Mantenimiento. Bucaramanga: Marzo. 2003.

7 CONFIABILIDAD

La Confiabilidad se relaciona con la reducción en la frecuencia de las fallas en un intervalo de tiempo, y es una medida de la probabilidad para una operación libre de fallas, es una medida del éxito para una operación libre de fallas.¹¹

¹¹ [Consultado Mayo 2018] Disponible en: <https://prezi.com/hn4h962ww9so/disponibilidad-confiabilidad-mantenibilidad-y-capacidad/>

8 MODOS DE FALLA

Las causas de las fallas son variadas para un mismo componente debido a que la falla se puede presentar por diversas causas como fatiga, desgaste, falta o baja lubricación, golpes entre otras, por lo cual se requiere un manejo estratégico diferente para cada causa de falla por esto se puede generar diferentes tareas para realizar el mantenimiento ya sea predictivo, preventivo o correctivo.

Un activo no es más confiable necesariamente porque el tiempo medio entre fallas (TMEF) ha mejorado, este es sólo uno de los atributos que puede mostrar mejora, puesto que un equipo con un “buen TMEF” (Tiempo Medio Entre Fallas) puede tener alto nivel de riesgo de accidentes que afecten la integridad de las personas, consumir mucha energía para operar y hasta dejar de ser rentables, o sea, no es confiable para la organización.¹²

¹² Pérez Carlos Mario , 26 Noviembre 2012, Artículo; Definición de las Frecuencia para un Plan de Mantenimiento,

9 EQUIPOS OBJETO DE ESTUDIO

9.1 CONTEXTUALIZACIÓN CASO DE ESTUDIO

Perenco Colombia Limited tiene operaciones en 21 estaciones las cuales están ubicadas en el departamento de Casanare y opera otro campo en el departamento del Tolima, estos campos operan de tal manera que logran una integración entre si que permite la optimización de recursos de la compañía.

Para fines de este estudio, el análisis mediante indicadores CMD se centrará en una de las estaciones de Perenco llamada Trinidad, localizada en el departamento de Casanare a 100 km aproximadamente de la Capital Yopal.

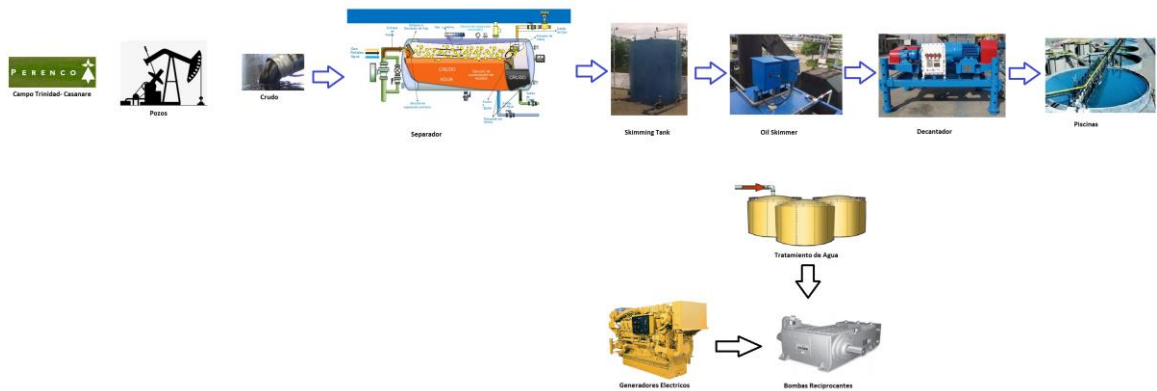
Figura 6. Localización Campo Trinidad- Casanare



Fuente: <http://www.perenco-colombia.com>

La estación Trinidad realiza operaciones de Extracción de Crudo y Tratamiento de Gas, Agua y Crudo tal como se observa en la figura 7, se cuenta con equipos tales como Separadores, Skimming Tanks, Oil Skimmer, Decantadores y Piscina de crudo, adicionalmente se hace tratamiento de agua para lo cual se emplean bombas recíprocas que son alimentadas por generadores eléctricos que operan con gas.

Figura 7. Operación de Estación Trinidad Perenco

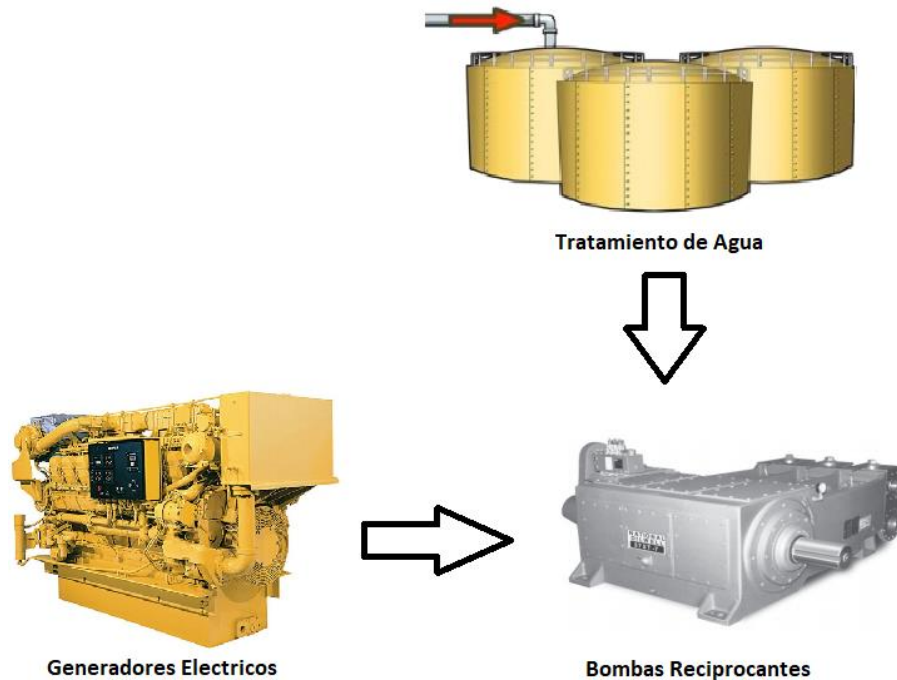


Fuente: Los Autores

9.2 LISTADO DE EQUIPOS

El presente estudio se concentra en el análisis de indicadores de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad de los Conjuntos Bomba- Motor que son encargados de realizar el tratamiento del agua obtenida en el proceso de separación.

Figura 8. Proceso de Tratamiento de Agua



Fuente: Los Autores

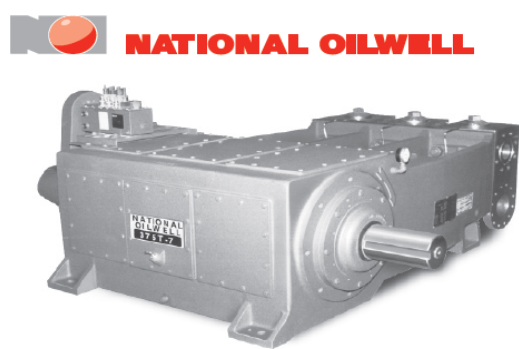
Las bombas empleadas en estación Trinidad son de Desplazamiento Positivo de Tipo Recíprocante marca National Oilwell Varco de triple embolo, modelo J-375 / 375T-7, en esta estación se encuentran actualmente 8 Motobombas en operación. Las características se presentan a continuación:

Figura 9. Motobomba National J375- Campo Trinidad



Fuente: Los Autores

Figura 10. Características Bomba J-375 marca National Oilwell Varco



Formerly J-375
375T-7

Triplex Plunger Pump

Rated input horsepower
"T" Triplex
Stroke length (in.)
Fluid end pressure ranges
"L" Low, "M" Medium, "H" High

This 7" stroke pump is designed for a variety of fluid transfer applications operating at low, medium or high pressures.

Field Connections in. (mm)		
Pump Model	Discharge Connection Size	Suction Connection Size
375T-7L	6 (152.4) API-2000# RTJ	10 (254) ANSI-150 F.F.
375T-7M	4 (101.6) ANSI-1500 RTJ	6 (152.4) ANSI-300 F.F.
375T-7H	3 (76.2) ANSI-2500 RTJ	6 (152.4) ANSI-300 F.F.

Dimensions			
Pump Type	Length	Width	Height
375T-7L	87-1/4"	79-11/16"	29"
375T-7M	88-1/2"	79-11/16"	29"
375T-7H	100"	79-11/16"	29"

Fuente:

https://www.rotatingright.com/pdf/pdfs_2009/technical/National/22%20RR%20NOV%20375T-7%20Technical%20Data%20Sheets.pdf

Figura 10. Especificaciones Técnicas Bomba National

Pump Specifications

Pump Size (Max. Plunger Diameter x Stroke) in. (mm)5 x 7 (127 x 178)
 Rated BHP At 286 RPM (Kw)375 (280)
 Rated Plunger Load (Kg)22,200 (10,070)

Maximum Working Pressure: PSI (kPa)

"L" Model Discharge Pressure 1,550 (10,686)
 "M" Model Discharge Pressure 3,150 (21,716)
 "H" Model Discharge Pressure..... 5,000 (34,473)

Crankshaft Extension: in. (mm)

Diameter6 (152.4)
 Length10-3/16 (258.9)
 Keyway (Width x Depth).....1-1/2 x 3/4 (38.1 x 19.0)

Oil Capacity: Gallons: (L)

Crankcase22 (83.6)

Weight: Pump Only On Wood Shipping Skids - Lbs. (Kg).....10,500 (4,763)

Continuous Duty Performance Data (Volumes Indicated Are Displacement of Incompressible Fluid)

English Units																		
Plunger Dia. In.	Plunger Area Sq. In.	BPD Per RPM	GPM Per RPM	Max. Press. PSI	100 RPM*		150 RPM		200 RPM		225 RPM		250 RPM		275 RPM		286 RPM	
					BPD	GPM	BPD	GPM	BPD	GPM	BPD	GPM	BPD	GPM	BPD	GPM	BPD	GPM
375T-7L																		
4 1/4	14.1863	44.2354	1.2897	1550	4424	128.97	6635	193.45	8847	257.93	9953	290.17	11059	322.42	12165	354.66	12651	368.84
4 1/2	15.9044	49.5927	1.4459	1399	4959	144.59	7439	216.88	9919	289.17	11158	325.32	12398	361.46	13638	397.61	14183	413.51
4 3/4	17.7206	55.2560	1.6110	1256	5526	161.10	8288	241.64	11051	322.19	12433	362.47	13814	402.74	15195	443.01	15803	460.74
5	19.6350	61.2255	1.7850	1133	6123	178.50	9184	267.75	12245	357.00	13776	401.63	15306	446.25	16837	490.88	17510	510.51
375T-7M																		
3	7.0686	22.0412	0.6426	3150	2204	64.26	3306	96.39	4408	128.52	4959	144.59	5510	160.65	6061	176.72	6304	183.78
3 1/4	8.2958	25.8678	0.7542	2682	2587	75.42	3880	113.12	5174	150.83	5820	169.69	6467	188.54	7114	207.39	7398	215.69
3 1/2	9.6212	30.0005	0.8747	2313	3000	87.47	4500	131.20	6000	174.93	6750	196.80	7500	218.66	8250	240.53	8580	250.15
3 3/4	11.0447	34.4393	1.0041	2015	3444	100.41	5166	150.61	6888	200.81	7749	225.91	8610	251.02	9471	276.12	9850	287.16
4	12.5664	39.1843	1.1424	1771	3918	114.24	5878	171.36	7837	228.48	8816	257.04	9796	285.60	10776	314.16	11207	326.73
375T-7H																		
2 1/2	4.9088	15.3064	0.4463	4533	1531	44.63	2296	66.94	3061	89.25	3444	100.41	3827	111.56	4209	122.72	4378	127.63
2 3/4	5.9396	18.5207	0.5400	3747	1852	54.00	2778	80.99	3704	107.99	4167	121.49	4630	134.99	5093	148.49	5297	154.43
3	7.0686	22.0412	0.6426	3150	2204	64.26	3306	96.39	4408	128.52	4959	144.59	5510	160.65	6061	176.72	6304	183.78
Brake Horsepower Required:					131	197	262	295	328	361	375							

Metric Units																		
Plunger Dia. mm	Plunger Area Sq. cm.	M ³ /D Per RPM	L/Min Per RPM	Max. Press. kPa	100 RPM*		150 RPM		200 RPM		225 RPM		250 RPM		275 RPM		286 RPM	
					M ³ /D	L/Min.	M ³ /D	L/Min.	M ³ /D	L/Min.	M ³ /D	L/Min.	M ³ /D	L/Min.	M ³ /D	L/Min.	M ³ /D	L/Min.
375T-7L																		
108	91.5246	7.0330	4.8814	10686	703	498.14	1055	732.21	1407	976.27	1582	1098.31	1758	1220.34	1934	1342.38	2011	1396.07
114	102.6089	7.8847	5.4725	9646	788	547.25	1183	820.88	1577	1094.51	1774	1231.32	1971	1368.14	2168	1504.95	2255	1565.15
121	114.3266	8.7852	6.0975	8657	879	609.75	1318	914.62	1757	1219.50	1977	1371.94	2196	1524.37	2416	1676.81	2513	1743.88
127	126.6777	9.7342	6.7562	7813	973	675.62	1460	1013.43	1947	1351.25	2190	1520.15	2434	1689.06	2677	1857.96	2784	1932.28
375T-7M																		
76	45.6040	3.5043	2.4322	21716	350	243.22	526	364.84	701	486.45	788	547.25	876	608.06	964	668.87	1002	695.62
83	53.5213	4.1127	2.8545	18493	411	285.45	617	428.18	823	570.90	925	642.26	1028	713.63	1131	784.99	1176	816.39
89	62.0721	4.7698	3.3106	15945	477	331.06	715	496.58	954	662.11	1073	744.87	1192	827.64	1312	910.40	1364	946.82
95	71.2562	5.4755	3.8004	13890	548	380.04	821	570.06	1095	760.08	1232	855.08	1369	950.09	1506	1045.10	1566	1086.91
102	81.0737	6.2299	4.3240	12208	623	432.40	934	648.60	1246	864.80	1402	972.90	1557	1081.00	1713	1189.10	1782	1236.66
375T-7H																		
64	31.6694	2.4336	1.6891	31253	243	168.91	365	253.36	487	337.81	548	380.04	608	422.26	669	464.49	696	483.07
70	38.3200	2.9446	2.0438	25829	294	204.38	442	306.56	589	408.75	663	459.85	736	510.94	810	562.03	842	584.51
76	45.6040	3.5043	2.4322	21716	350	243.22	526	364.84	701	486.45	788	547.25	876	608.06	964	668.87	1002	695.62
Kilowatts Required:					98	147	196	220	244	269	280							

Volume is based on 100% volumetric efficiency. Brake horsepower is based on 90% mechanical efficiency.

Fuente:

https://www.rotatingright.com/pdf/pdfs_2009/technical/National/22%20RR%20NOV%20375T-7%20Technical%20Data%20Sheets.pdf

Por otra parte, los Generadores son Marca Caterpillar Modelo 3516 de operación con Gas, en funcionamiento se encuentran 3 equipos que alimentan las ocho bombas National, a continuación las características técnicas:

Figura 11. Generador Carterpillar Campo Trinidad



Fuente: Los Autores

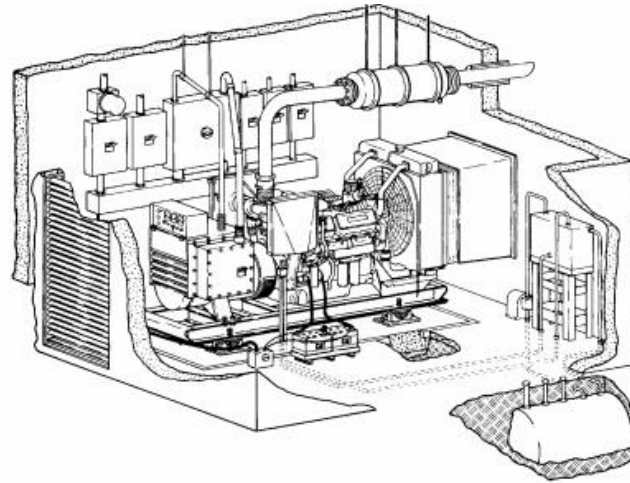
Figura 12. Generador Carterpillar Vista Isométrica



Fuente:

http://www.finanzauto.es/images/documentos/productos/soluciones_energeticas_propulsion/PR%201825%20_V06-12_%20-%203516_PGDI_182550P01.pdf.

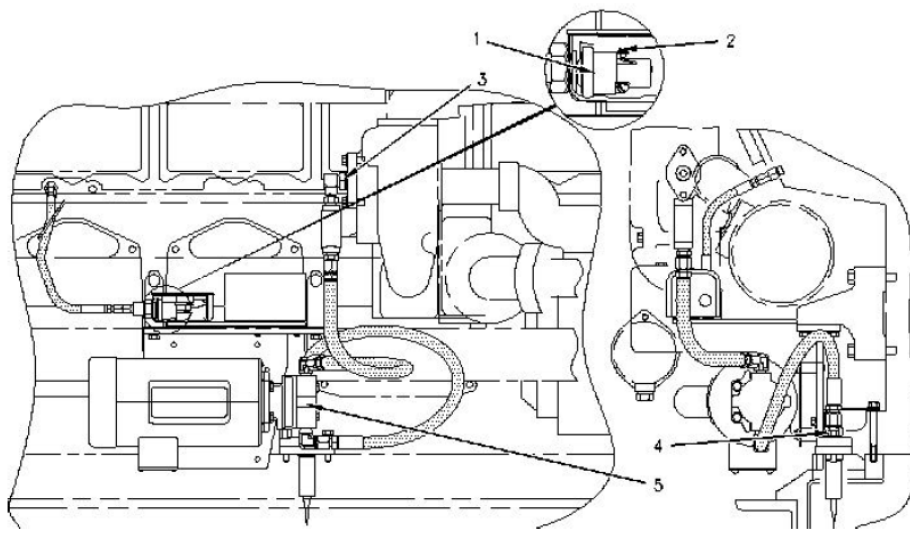
Figura 13. Generador Caterpillar- Vista de Corte



Fuente:

ftp://ftp.conagua.gob.mx/OCPBC/aps/30_Junio_2017/PTAR%20San%20Pablo%200-Tecate/ESPECIFICACIONES%20TECNICAS/Electrico/--MANUAL%20INSTALACION%20PLANTA%20DE%20EMERGENCIA%20CATERPILLAR.pdf

Figura 14. Generador Caterpillar- Sistemas y Componentes



(1) Oil pressure switch

Normal contact position below deactuation pressure ... closed
Actuation pressure ... 275 ± 30 kPa (40 ± 4 psi)
Minimum deactuation pressure ... 245 kPa (35 psi)
Torque ... 22 ± 3 N·m (16 ± 2 lb ft)
Operating temperature ... -40 to 121 °C (-40 to 250 °F)

(2) Screw

Torque ... 1.7 ± 0.3 N·m (15 ± 3 lb in)

(3) Reducer bushing

(4) Connector

Use Teflon tape on the threads of bushing (3) and connector (4).

(5) Prelube pump

Flow at 1750 rpm and 345 kPa (50 psi) of pressure ... 3.8 L/min (1 US gpm)

Fuente: https://sisweb.cat.com/sisweb/sisweb/techdoc_print_page.jsp

Figura 15. Especificaciones Técnicas Generador Caterpillar

Sound Data @ 100% Load	Overall Sound Level db(A)	Sound Level in Linear Decibels [db] "Octave Band Center Frequency"							
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Mechanical Sound @ 1 m	99	98	94	89	90	92	94	91	82
Exhaust Sound @ 1.5 m	109	97	101	103	100	100	102	104	98

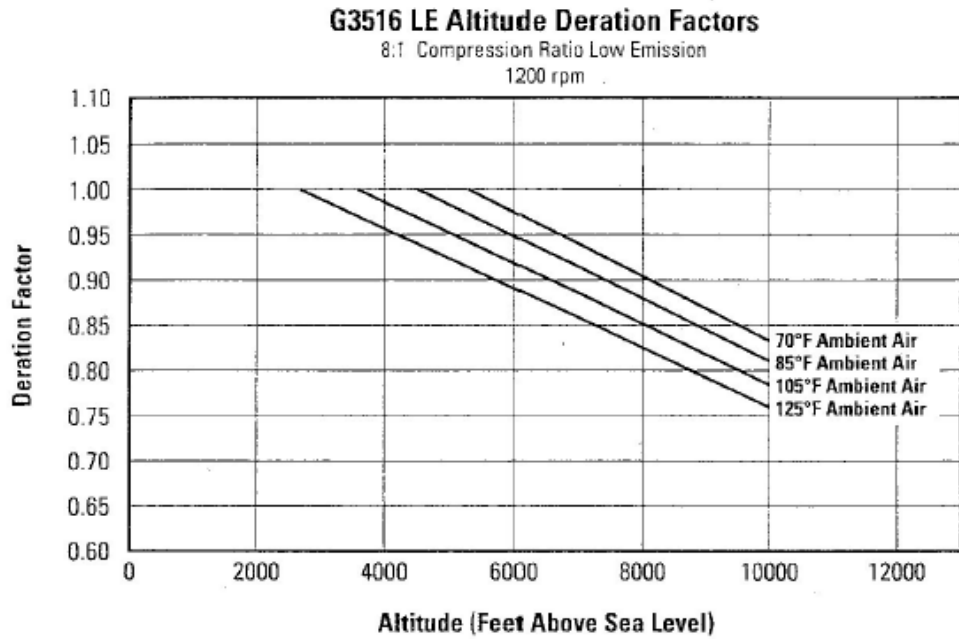
G3516 LE SCAC Generator Set Performance 60 Hz

DM0108-02

8:1 Compression Ratio Low Emission	100%	75%	50%
Aspiration	LE	LE	LE
Speed	1200	1200	1200
JW Temperature	210	210	210
A/C Temperature	130	130	130
Engine Power	1084	813	550
Gen Output	770	578	385
NO _x (as NO ₂)	2.0	2.4	5.0
CO	1.5	1.4	1.8
HC (Total)	2.9	2.6	2.3
HC (Non-Methane)	0.4	0.4	0.4
Exhaust-Oxygen	8.3	7.7	6.5
BSFC	7541	7732	8079
Compressor Out Pressure	68.1	58.2	43.4
Compressor Out Temp	282	250	183
Intake Manifold Pressure	63.1	48.2	33.6
Intake Manifold Temp	139	137	135
Air-Fuel Ratio (Dry)	15.6	14.5	13.6
Timing	22.0	22.0	22.0
Input Energy (LHV)	135860	104867	74100
Work	45836	34520	23316
Exhaust (LHV)	37249	27354	18141
Exhaust (to 350°F)	25364	18255	12170
Aftercooler	6028	3412	1422
Radiation	8473	6312	3242
Jacket Water/Oil Cooler	38273	33268	27980
Air Flow (Dry)	10714	7684	5102
Air Flow (Dry)	2415	1732	1150
Exhaust Flow	11179	8050	5364
Exh Flow (Wet)	6523	4700	3136
Exhaust Stack Temp	863	863	865
Fuel Flow	9002	6946	4909

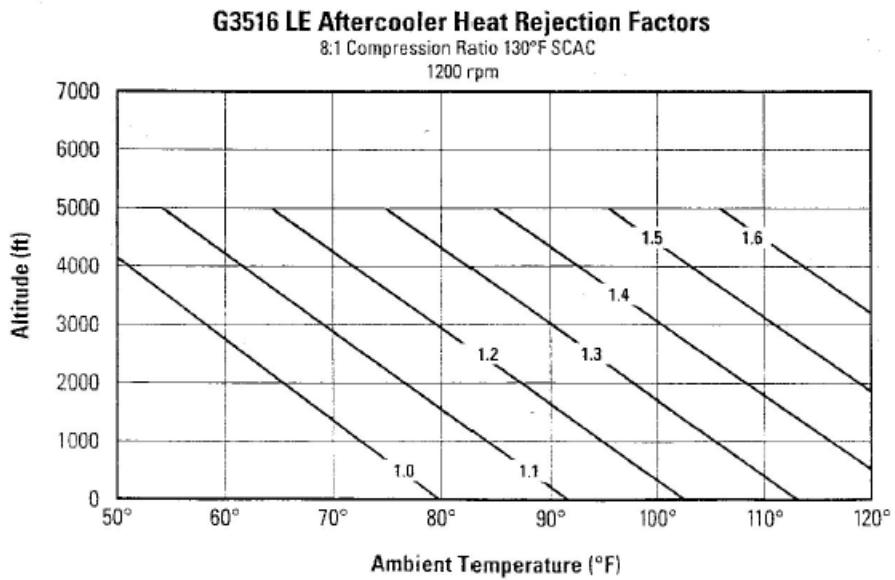
Fuente: Archivo Técnico Interno PERENCO

Figura 16. Factores de Degradación de Altitud



Fuente: Archivo Técnico Interno PERENCO

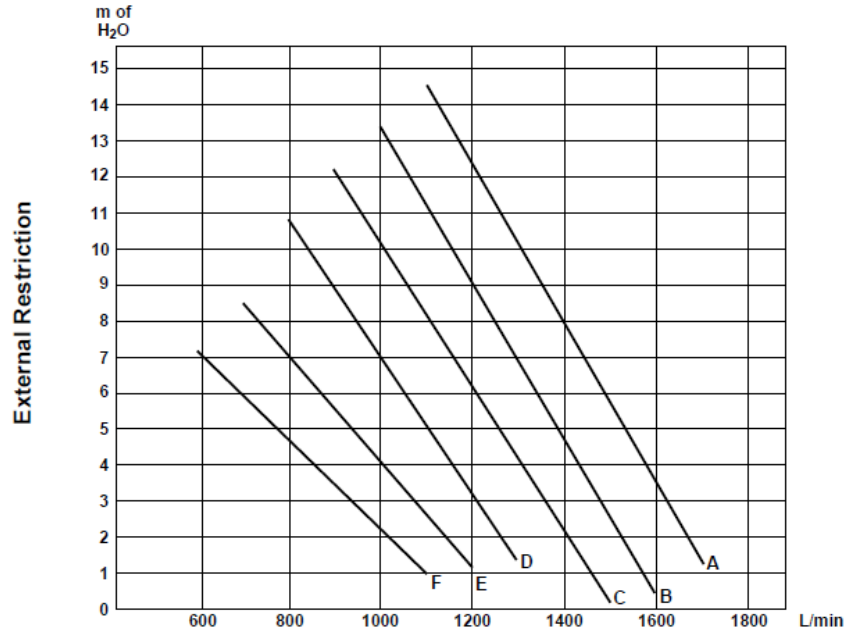
Figura 17. Factores de Rechazo de Calor



Fuente: Archivo Técnico Interno PERENCO

Figura 18. Curva de Rendimiento a Alto Regimen de Velocidad

G3516 High Speed Jacket Water System Performance TM9732-00



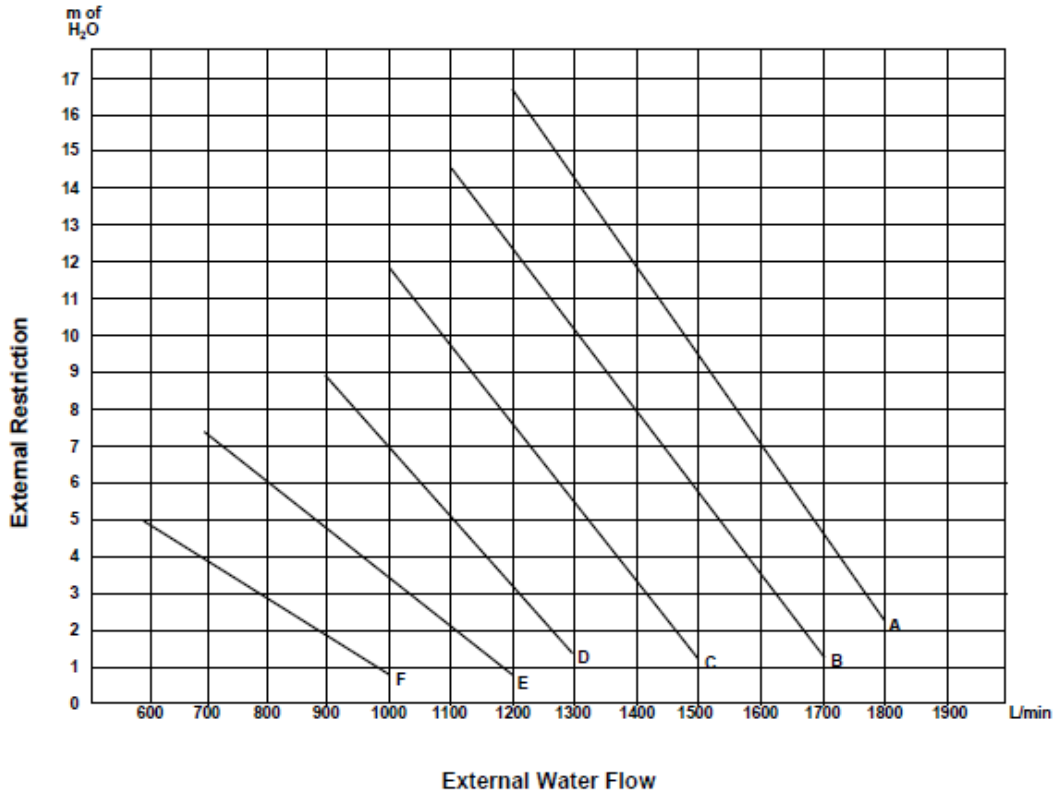
Curve Data

Curve Label	A	B	C	D	E	F	
Engine Speed rpm	1800	1700	1600	1500	1400	1300	Engine equipped with water cooled exhaust manifolds or with dry exhaust manifolds and JW aftercooler.
Pump Speed rpm	2400	2266	2133	2000	1866	1733	
External Flow L/min	-----External Resistance-----						2W9729 JW Pump
	-----Meter of Water-----						Drive Ratio 1.33:1
600						7.2	
700						5.9	
800				10.8	7.0	4.7	
900			12.5	8.9	5.5	3.5	For high speed (1301 - 1800 rpm) ratings
1000		13.4	10.4	7.0	4.1	2.2	
1100	14.5	11.2	8.4	5.1	2.6	1.0	Curves indicate maximum allowable external resistance. Do not project curves.
1200	12.3	9.1	6.3	3.3	1.1		
1300	10.1	6.9	4.3	1.4			
1400	7.9	4.8	2.2				
1500	5.7	2.6	0.2				
1600	3.5	0.4					
1700	1.2						

Fuente: Archivo Técnico Interno PERENCO

Figura 19. Curva de Rendimiento a Bajo Regimen de Velocidad

G3516 Low Speed Jacket Water System Performance TM9733-00



External Water Flow

Curve Data

Curve Label	A	B	C	D	E	F	
Engine Speed rpm	1300	1200	1100	1000	900	800	Engine equipped with water cooled exhaust manifolds or with dry exhaust manifolds and JW aftercooler.
Pump Speed rpm	2600	2400	2200	2000	1800	1800	2W9729 JW Pump
External Flow L/min	-----External Resistance-----						Drive Ratio 2:1
	-----Meter of Water-----						For low speed (1300 rpm and below) ratings
600						4.9	
700					7.4	3.9	
800					6.0	2.9	
900				8.9	4.6	1.8	
1000			11.8	7.0	3.2	0.8	
1100		14.5	9.7	5.1	1.7		
1200	16.7	12.3	7.8	3.3	0.3		Curves indicate maximum allowable external resistance. Do not project curves.
1300	14.3	10.1	5.5	1.4			
1400	11.9	7.9	3.3				
1500	9.5	5.7	1.2				
1600	7.1	3.5					
1700	4.7	1.2					
1800	2.3						

Fuente: Archivo Técnico Interno PERENCO

9.3 MATRIZ CRITICIDAD DE EQUIPOS EN PERENCO

En Perenco Colombia Limited está establecida una Matriz de Criticidad para los equipos de los Campos de acuerdo a la ecuación que se muestra a continuación:

$$\text{Criticidad} = \text{Consecuencia} \times \text{Frecuencia de Falla}$$

Donde:

$$\text{Consecuencia} = \text{Costo Reparación} + \text{HSEQ} + (\text{PERDIDA BOPD} \times \text{MTTR} \times \text{FLEXIBILIDAD})$$

A continuación, se desglosan los factores:

- Costos de Reparación:

Tabla 1. Costos de Reparación

COSTO DE REPARACION	
RANGO	PUNTAJE
COSTO < X	10
X < COSTO < Y	20
Y < COSTO	30

- HSQ

Tabla 2. HSQ

HSEQ	
RANGO	PUNTAJE
NO IMPACTA	0
IMPACTA	14

- Perdidas BOPD

Tabla 3. Perdidas BOPD

PERDIDA BOPD	
RANGO	PUNTAJE
PERDIDA < X	1
X < PERDIDA < Y	2
Y < PERDIDA < Z	3
Z < PERDIDA	4

- MTTR

Tabla 4. MTTR

MTTR	
RANGO	PUNTAJE
MTTR < X	1
X < MTTR < Y	2
Y < MTTR	3

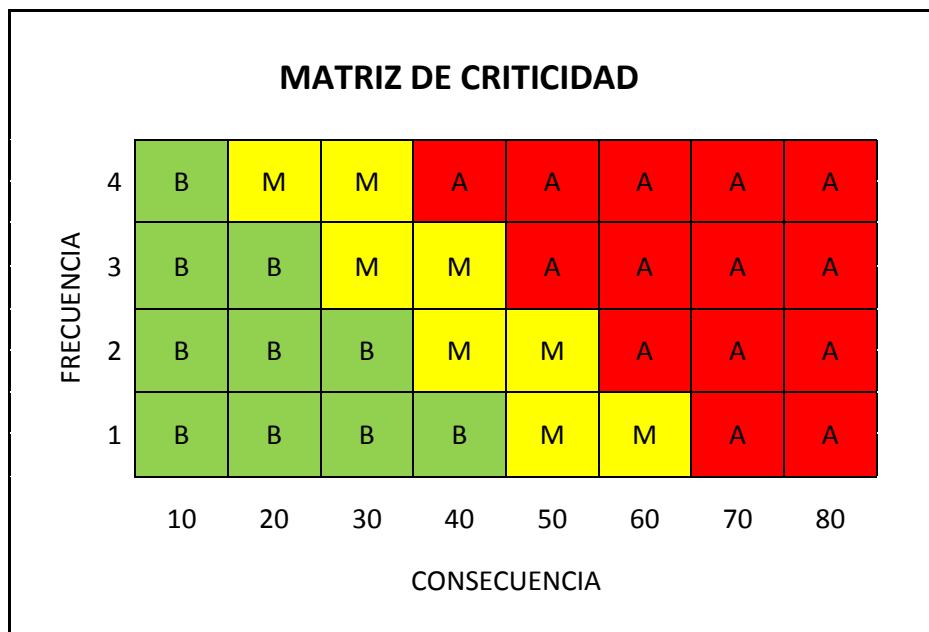
- Flexibilidad

Tabla 5. Flexibilidad

FLEXIBILIDAD	
RANGO	PUNTAJE
CON STAND BY	1
CON PISCINA O REEMPLAZO EN SITIO	2
SIN STAND BY	3

Al consolidar esta información se construye la matriz de Criticidad, como se muestra a continuación:

Figura 20. Matriz Criticidad Perenco



9.4 MATRIZ CRITICIDAD DE EQUIPOS EN CAMPO TRINIDAD

Aterrizando la información a Campo Trinidad, se obtienen los siguientes factores para el cálculo de la criticidad:

- Costos de Reparación

Tabla 6. Costos de Reparación Campo Trinidad

COSTO DE REPARACION (en MM)	
RANGO	PUNTAJE
COSTO < 10.000	10
10.000 < COSTO < 20.000	20
20.000 < COSTO	30

- HSQ

Tabla 7. HSQ Campo Trinidad

HSEQ	
RANGO	PUNTAJE
NO IMPACTA	0
IMPACTA	14

- Perdidas BOPD

Tabla 8. Perdidas BOPD Campo Trinidad

PERDIDA BOPD (en MM)	
RANGO	PUNTAJE
PERDIDA < 50	1
50 < PERDIDA < 150	2
150 < PERDIDA < 300	3
300 < PERDIDA	4

- MTTR

Tabla 9. MTTR Campo Trinidad

MTTR (en MM)	
RANGO	PUNTAJE
MTTR < 50	1
50 < MTTR < 150	2
150 < MTTR	3

- Flexibilidad

Tabla 10. Flexibilidad Campo Trinidad

FLEXIBILIDAD	
RANGO	PUNTAJE
CON STAND BY	1
CON PISCINA O REEMPLAZO EN SITIO	2
SIN STAND BY	3

Con esta información se establece el puntaje para la Matriz de Criticidad:

Tabla 11. Consolidación de Puntajes

VARIABLE	PUNTAJE
COSTO DE REPARACION	30
HSEQ	14
PERDIDA BOPD	3
MTTR	2
FLEXIBILIDAD	3

CONSECUENCIA	62
FRECUENCIA	1
UBICACIÓN EN MATRIZ	62

CRITICIDAD	ALTA
-------------------	-------------

De esta manera se construye la Matriz de Criticidad específico para el campo Trinidad:

Figura 21. Matriz Criticidad Perenco Especifico Campo Trinidad

MATRIZ DE CRITICIDAD								
FRECUENCIA								
	10	20	30	40	50	60	70	80
4	40	80	120	160	200	240	280	320
3	30	60	90	120	150	180	210	240
2	20	40	60	80	100	120	140	160
1	10	20	30	40	50	60	70	80
	CONSECUENCIA							

A continuación, la clasificación según la matriz de criticidad para las bombas National y los Generadores Caterpillar:

Tabla 11. Calificación Criticidad Equipos Campo Trinidad

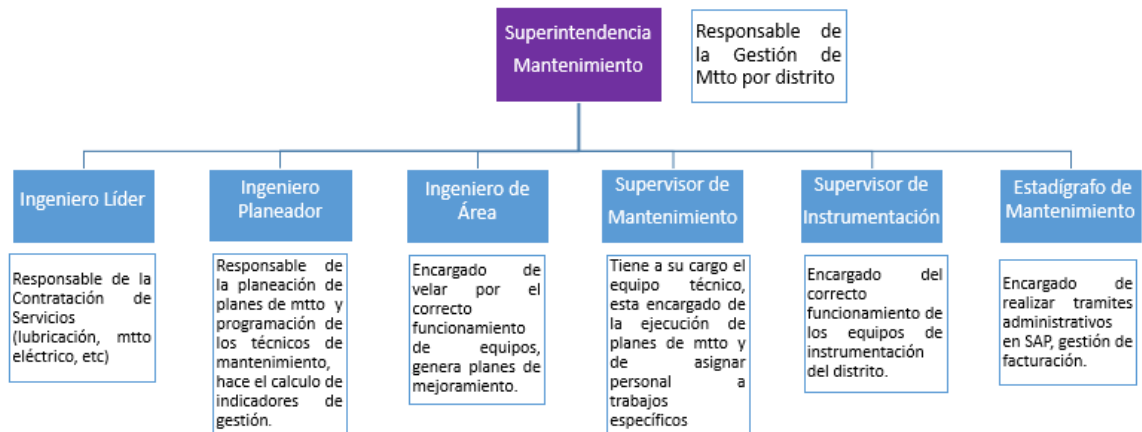
EQUIPO	COSTO REPARACIÓN	HSEQ	PERDIDAS DE BOPD	MEAN TIME TO REPAIR	FLEXIBILIDAD	FRECUENCIA	CONSECUENCIA	UBICACIÓN MATRIZ	CRITICIDAD
COL-ENG-CAT-0116 J375-5(8J)	10	14	4	1	2	4	32	128	ALTA
COL-ENG-CAT-0081 J375-3(3E)	10	14	4	1	2	4	32	128	ALTA
COL-ENG-CAT-0073 J375-2(3S)	10	14	4	1	2	4	32	128	ALTA
COL-ENG-CAT-0046 J375-1(4D)	10	14	4	1	2	4	32	128	ALTA
COL-PMP-NATIO-0055 J375-1-BBA	10	14	4	1	2	4	32	128	ALTA
COL-PMP-NATIO-0059 J375-5-BBA	10	14	4	1	2	4	32	128	ALTA
COL-ENG-CAT-0112 3516-2(DF)	10	14	4	1	3	4	36	144	ALTA
COL-ENG-CAT-0068 3516-1(4O)	10	14	4	1	3	4	36	144	ALTA
COL-PMP-NATIO-0058 J375-4-BBA	10	14	4	1	2	4	32	128	ALTA
COL-ENG-CAT-0047 J375-4(4L)	10	14	4	1	2	3	32	96	MEDIA
COL-ENG-CAT-0070 3516-3(4M)	10	14	4	1	2	3	32	96	MEDIA

9.5 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PERENCO

En Perenco Colombia Limited se maneja el módulo PM de SAP para la gestión de Mantenimiento, dentro de la estructura de SAP se tiene establecido una Taxonomía de Equipo- Sistemas- Subsistemas- Componentes, lo que permite hacer un seguimiento más detallado del comportamiento de los equipos de la estación y se lleva un histórico de las fallas que se han presentado, estos datos le permiten al área de mantenimiento determinar tendencias, verificar históricos y tomar decisiones que permitan mejorar la gestión del área.

Como se mencionó anteriormente, el esquema de trabajo de mantenimiento involucra varios actores que se encargan de retroalimentar el sistema y mantenerlo actualizado de forma que la información se encuentre siempre disponible, el ingeniero Planeador se encarga de crear y modificar los planes de mantenimiento de los equipos según se defina con el ingeniero de área, ingeniero líder, supervisor de mantenimiento e instrumentación.

Figura 22. Funciones Estructura Mantenimiento



Fuente: Los autores

Dentro de la estructura de Mantenimiento se encuentran los siguientes cargos:

Superintendente de Mantenimiento quien es el encargado de liderar la gestión de mantenimiento en cada uno de los distritos y del correcto funcionamiento de los equipos en cada estación, bajo su mando se encuentran: El Ingeniero Líder que se

encarga de la contratación y gestión de servicios mayores como lubricación y mantenimiento eléctricos mayores, también se encuentra el Ingeniero Planeador quien es responsable de la generación y modificación de planes de mantenimiento, programación del personal técnico y el cálculo de indicadores de gestión. Por otra parte, el Ingeniero de Área se encarga de verificar el funcionamiento de los equipos de cada estación y generar planes de mejoramiento los cuales se incluyen a la programación de mantenimiento por parte del Planeador, el Supervisor de Mantenimiento que se encuentra por estación está a cargo del equipo técnico, de la ejecución de los planes de mantenimiento y de asignar el personal a los trabajos específicos y de las labores correctivas que se van generando en la jornada. El Supervisor de Instrumentación se encarga de los equipos de Instrumentación, de mantener calibrados los equipos y actualizado el cronograma de Metrología por distrito y finalmente el Estadígrafo es el encargado de realizar trámites administrativos, compra de tiquetes, gestión de facturación.



9.6 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

La estrategia de mantenimiento definida por Perenco Colombia Limited para la gestión de mantenimiento se basa principalmente en Planes de Mantenimiento Preventivo, seguido por rutinas de Mantenimiento Predictivo tales como análisis de aceite y análisis de termografía, análisis de vibraciones y actividades de Mantenimiento Proactivo generadas en sitio por el Ingeniero de Área con apoyo del Supervisor de Mantenimiento y la medición de retrocesos en las válvulas de admisión y escape de los motores a gas, y en menor proporción por las actividades Correctivas o restaurativas.

Los planes de mantenimiento establecidos por el Planeador y aprobados por el ingeniero de Área y Supervisor de Mantenimiento están supeditados al tiempo de operación de los equipos, existiendo así planes para las 2.500, 5.000 y 20.000 horas para una bomba, en los que se realiza diferentes actividades según el tipo de mantenimiento algunas de las actividades son, cambio de cojinetes, lubricación de chumaceras, verificación de fugas por prensa estopas, verificación de conexiones

eléctricas entre otras. Para los equipos de la estación Trinidad que se están analizando (Bombas Reciprocantes y Generadores Eléctricos se tienen establecidos planes de mantenimiento según la tabla mostrada a continuación:

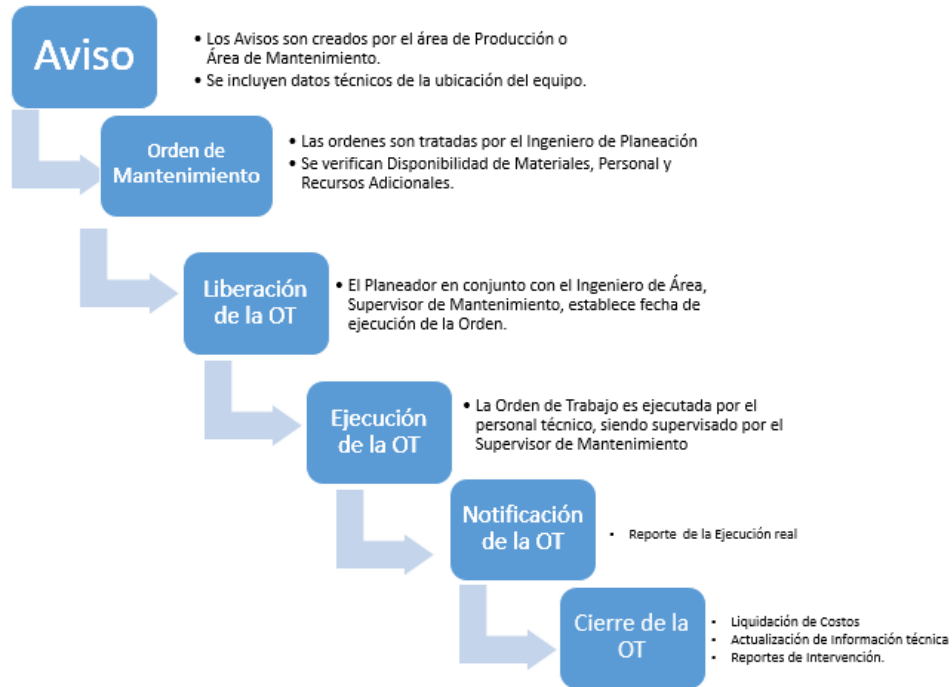
Figura 23. Planes de Mantenimiento Equipos

Equipo	Planes de Mantenimiento
Generador Electrico 	1000 H 2000 H 5000 H 48000 H (overhaul)
Bombas Reciprocates 	2500 H 5000 H

Fuente: Los autores

9.7 PROCESO DE MANTENIMIENTO

Figura 24. Proceso de Ordenes de Mantenimiento

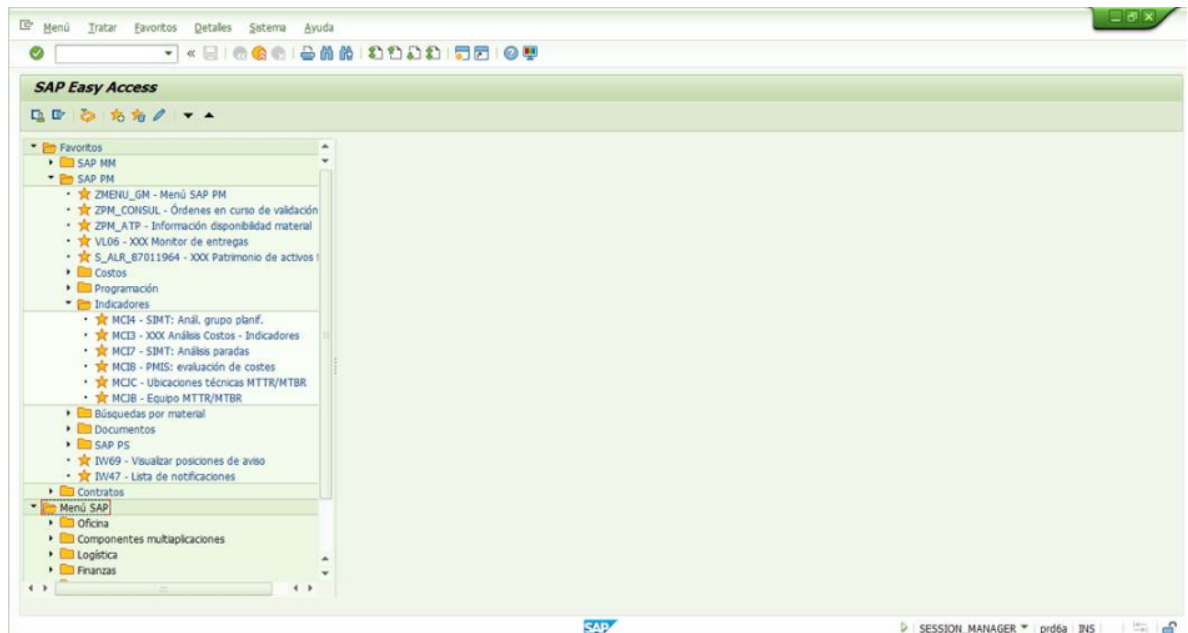


Fuente: Los autores

El proceso de mantenimiento está organizado en SAP a través de la creación de avisos y Ordenes de Trabajo, el flujo de los servicios de Mantenimiento correctivos o restaurativos inicia con la creación de Avisos por parte del área de Producción y Mantenimiento, los servicios preventivos y predictivos son programados de acuerdo con los datos suministrados por los usuarios de SAP, respecto a las horas trabajadas por los equipos. Los avisos son gestionados por el Planeador de Mantenimiento quien verifica la criticidad de las solicitudes y si se encuentran disponibles repuestos, materiales especiales o servicios externos y procede a preprogramar los avisos convirtiéndolos en ordenes de trabajo, posteriormente y cuando se han puesto de acuerdo con el Líder de Área y Supervisor de Mantenimiento, se programan las ordenes de trabajo las cuales son ejecutadas por el personal técnico dentro de las fechas acordadas de manera previa, una vez se finalizan las actividades de las OT, los técnicos diligencian las ordenes de trabajo con la información de tiempos de paradas y otros datos técnicos concernientes a la

ejecución de los trabajos. Esta información es consolidada y digitada en SAP por parte del Planeador de Mantenimiento quien además se encarga de la Notificación del tiempo empleado por el personal técnico en la ejecución de la OT y finalmente hace el cierre Técnico de la orden colocando los tiempos de ejecución y de paradas de los equipos incluyendo, documentando con los reportes realizados por los técnicos. De esta manera se completa el ciclo de una orden de trabajo en SAP que permite tener trazabilidad de todas las intervenciones realizadas a los equipos y que además son la fuente para el cálculo de los diferentes indicadores de gestión de Mantenimiento tales como Confiabilidad, Disponibilidad, MTTF, MTTR entre otros. Es importante que el sistema se esté alimentando con información de manera regular para que los datos de indicadores sean realmente confiables y permitan la toma de decisiones.

Figura 25. SAP empleado en proceso Mantenimiento Perenco



A través de las diferentes transacciones que SAP ofrece es posible hacer la determinación de malos actores (Transacción SAP MCI7), fallas frecuentes (Transacción IW69), Órdenes de Trabajo abiertas y en tratamiento (Transacciones

IW47- IW47N), este software de mantenimiento ofrece la posibilidad de determinar indicadores de gestión.

Figura 26. Transacción SAP MC17

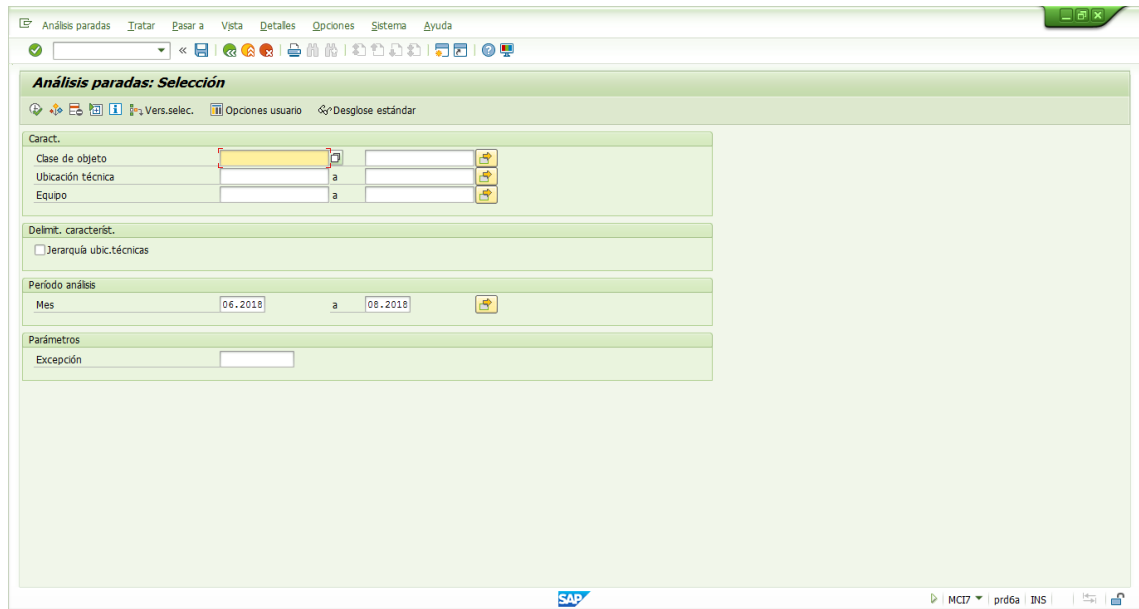
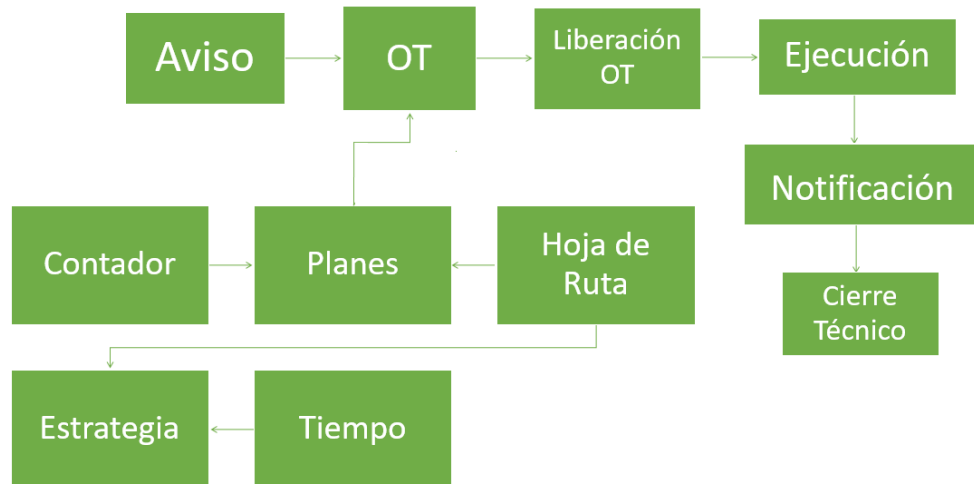


Figura 27. Flujo de Proceso de Orden de Mantenimiento



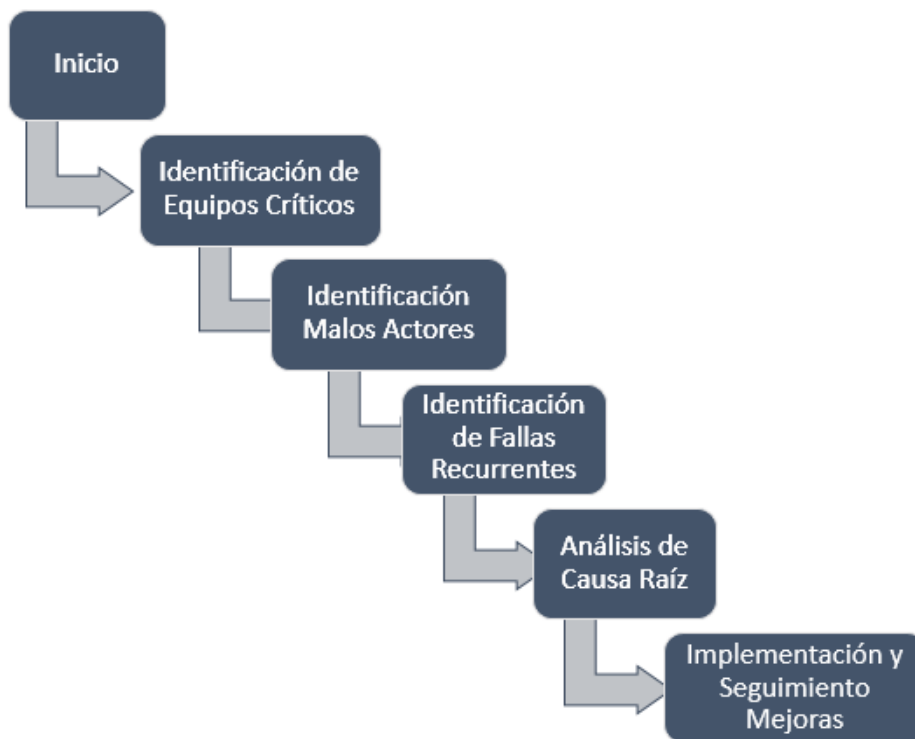
Fuente: Los autores

10 GESTIÓN DE MALOS ACTORES

10.1 METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE MALOS ACTORES

Los malos actores son los causantes de la mayor cantidad de fallas en las instalaciones productivas, así que es necesario tener una metodología que permita hacer una adecuada y sobre todo efectiva gestión de estos actores para lo cual se propone la siguiente sistemática, en la cual se inicia con la determinación de equipos críticos, seguido por la identificación de los malos actores a través de las herramientas de análisis de los indicadores de gestión de mantenimiento, posteriormente se analizan las fallas más recurrentes para realizar análisis de causa raíz y establecer acciones de mejora que deben ser implementados y evaluadas para verificar su eficacia y pertinencia.

Figura 28. Proceso Gestión Malos Actores



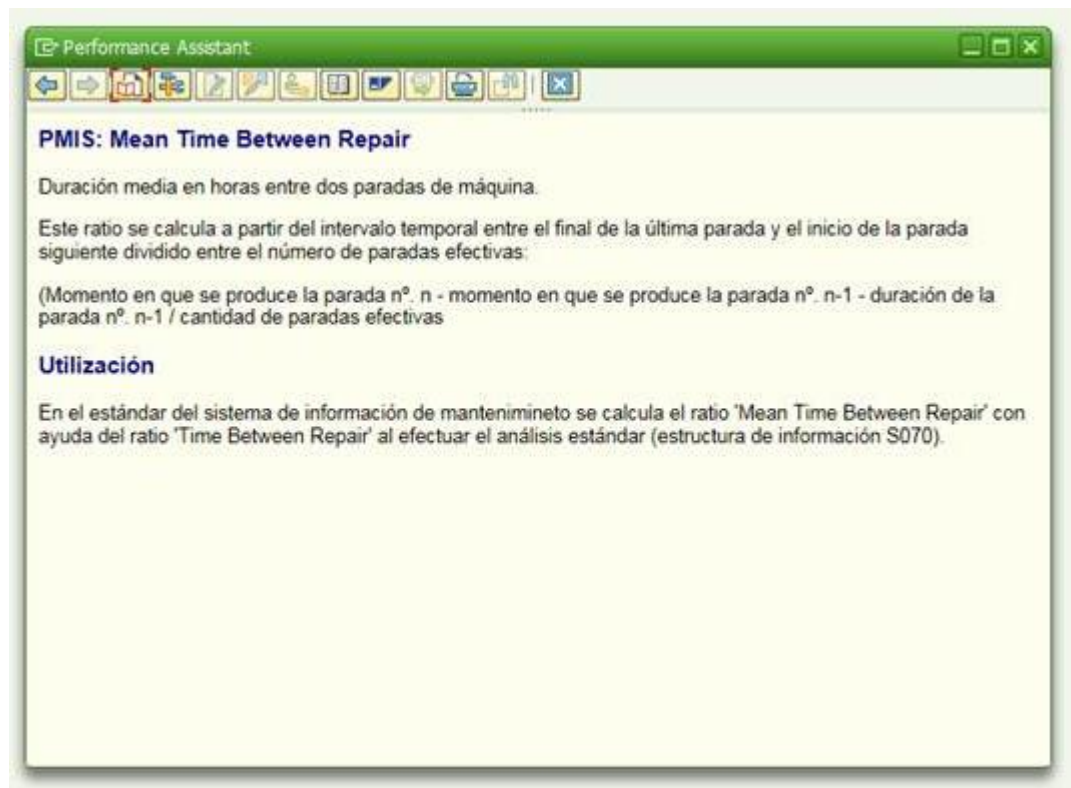
10.2 CÁLCULO DE INDICADORES DE EFECTIVIDAD DE MANTENIMIENTO EN SAP

SAP realiza el cálculo de algunos Indicadores de Mantenimiento tales como el Tiempo Medio para Reparar (TPPR, en Ingles Mean Time To Repair- MTTR) y el Tiempo Medio entre Fallas (TMEF, en ingles Mean Time Between Repair -MTBR). Esta información será la base para el análisis de la efectividad de la gestión de Mantenimiento, además del cálculo de Disponibilidad y Confiabilidad los cuales serán de gran importancia para el análisis de los Malos actores.

La manera en que SAP hace el cálculo de estos indicadores se explica a continuación:

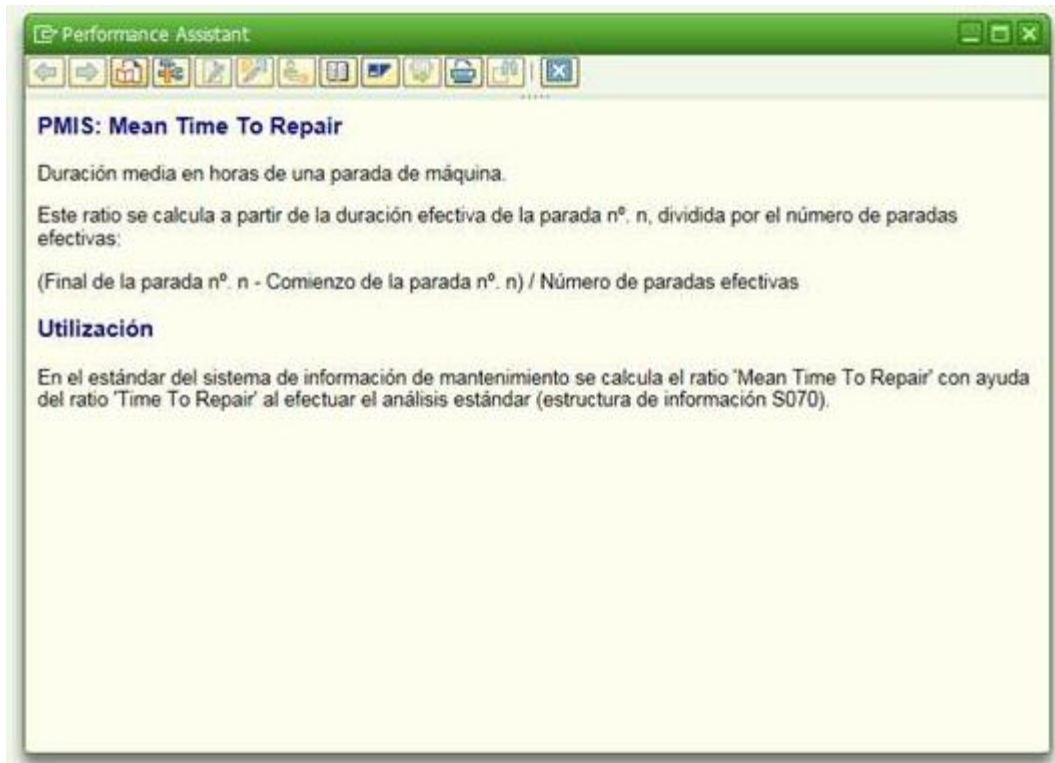
- MTBR: Se calcula a partir del intervalo de tiempo entre el final de la última parada y el inicio de la parada siguiente dividido entre el número de paradas.

Figura 29. Cálculo de MTBR en SAP



- MTTR: Se calcula a partir de la duración efectiva de la parada dividida entre el número de paradas.

Figura 30. Cálculo de MTTR en SAP



10.3 INDICADORES DE EFECTIVIDAD DE MANTENIMIENTO

Se identificarán a partir de los reportes de Tiempo Medio entre Fallas (TMEF, en ingles Mean Time Between Repair -MTBR) y Tiempo Medio para Reparar (TPPR, en Ingles Mean Time To Repair- MTTR) que se encuentran disponibles en SAP, se obtienen los reportes de los años 2015, 2016 y 2017 a los cuales se les realizará el análisis para determinar cuál ha sido la tendencia. Con esta información se generan gráficas de comportamiento anuales y diagramas de Pareto para conocer cuales equipos han presentado más fallas a lo largo de este tiempo de evaluación.

SAP genera informes con los datos de MTBF (Mean Time Before Failures ó Tiempo Medio entre Fallas) y MTTR (Mean Time To Repair ó Tiempo Medio para Reparar)

los cuales se exportan a Excel tal como se muestra a continuación. Las tablas obtenidas de SAP se incluirán en el aparte de Anexos.

Tabla 12. Reporte de MTTR y MTBR generado por SAP

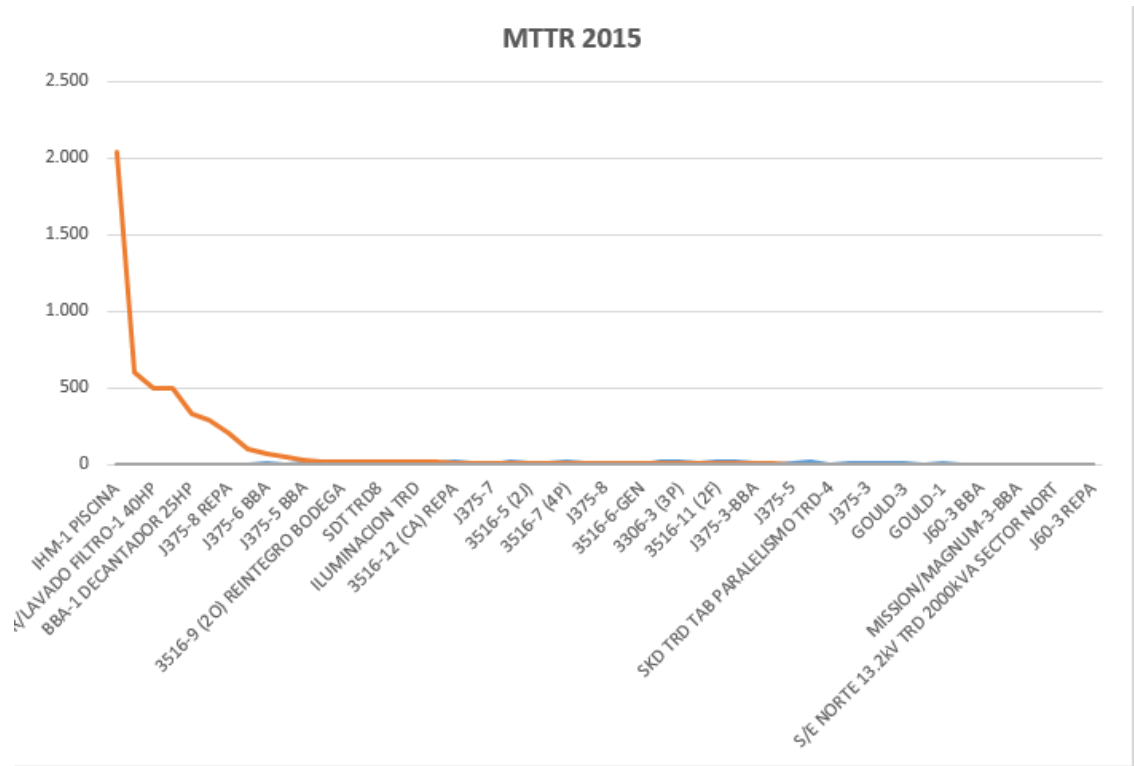
Equipo	Parad.ef.	MTTR	MTTR	MTBR	MTBR
CHOKE TRD4	1	1.224,000	H	10.574,917	H
A.A OFICINAS	2	840,000	H	4.367,367	H
MISSION/MAGNUM-5 15 HP	1	150,000	H	17.180,550	H
3516-12 (2K)	10	107,500	H	1.168,293	H
J375-5 BBA	17	78,272	H	435,338	H
3516-9 GEN	3	41,000	H	4.213,611	H
J375-8 BBA	22	37,505	H	399,438	H
GOULD-2-BBA	2	37,000	H	7.012,925	H
J375-7	9	35,111	H	887,200	H
TABLEROS DE SINCR PLANTAS 3516 TRD-4	1	32,000	H	29.719,683	H
3516-11 (2F)	13	23,712	H	629,859	H
3306-3 (3P)	4	22,250	H	1.703,175	H
3516-7 (4P)	14	19,571	H	726,585	H
3306-4 (1G)	2	19,000	H	7.328,750	H
AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACION TRD	2	14,000	H	10.148,700	H
VSD TRD6	1	13,000	H	4.096,783	H
VSD TRD8	2	12,500	H	5.477,525	H
J375-3	5	12,400	H	1.610,440	H
CHOKE TRD5	5	207,99	H	4480,2	H
A.A OFICINAS	5	245,79	H	4322,1	H

Fuente: Los Autores

1. Año 2015

- MTTR

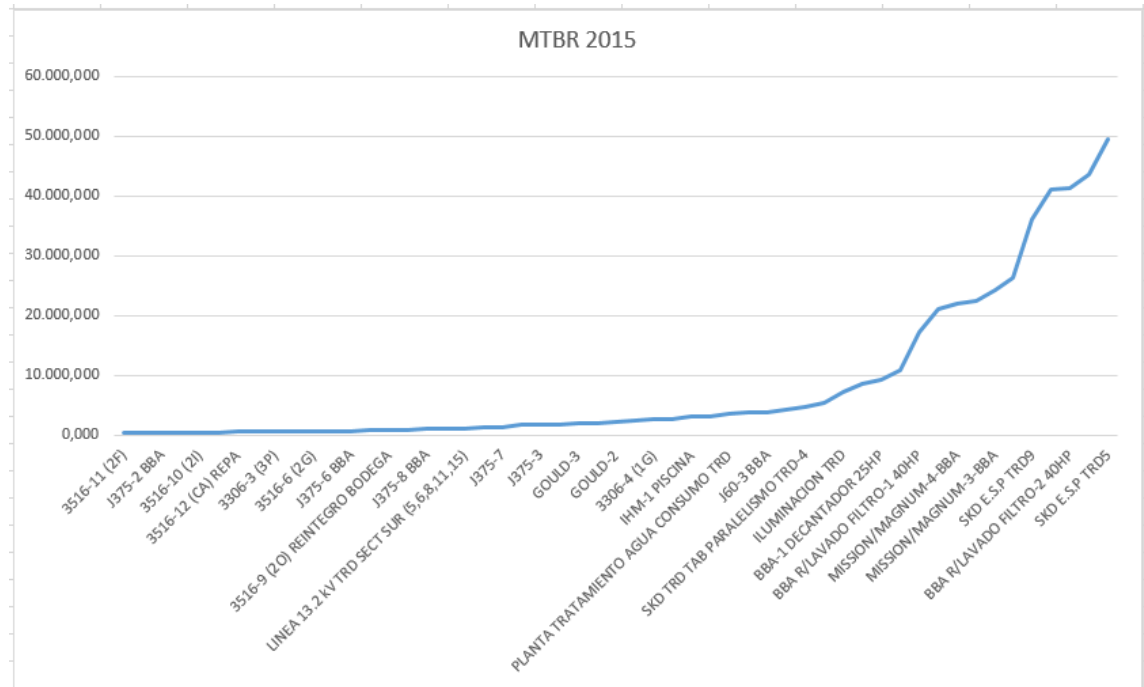
Figura 31. MTTR 2015



En la gráfica se puede observar que aparecen tres bombas National J375 dentro del top 10 de los equipos con un MTTR mayor, por otra parte, aparece uno de los Generadores Caterpillar con un tiempo de reparación de 13200 horas. En promedio el MTTR de estas bombas es de 189.256 horas mientras que el promedio para los generadores es de 7650 horas.

- MTBR

Figura 32. MTBR 2015

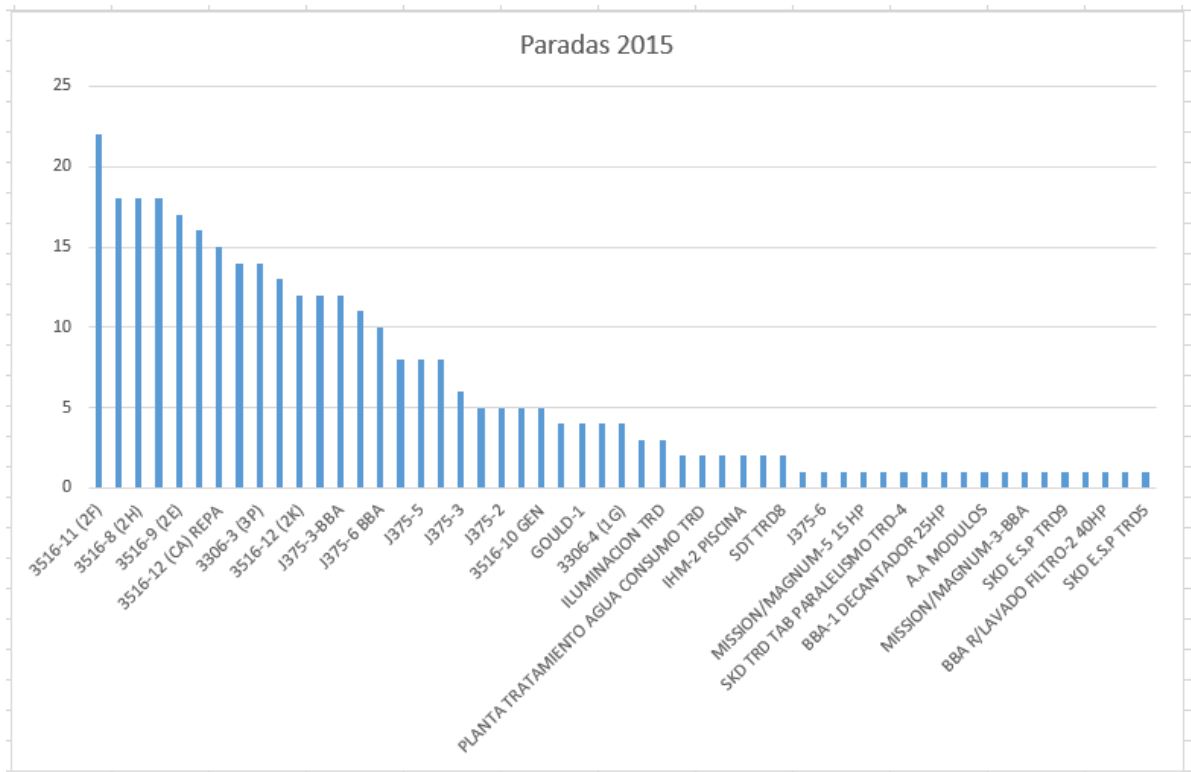


En la gráfica se observa que tres de las bombas J375 tienen un tiempo medio entre fallas menor situándose en el top 10, con un promedio de 565.722 horas. Mientras que se encuentra un generador en el top 20 con un tiempo promedio de 3090 horas.

- **Pareto Fallas**

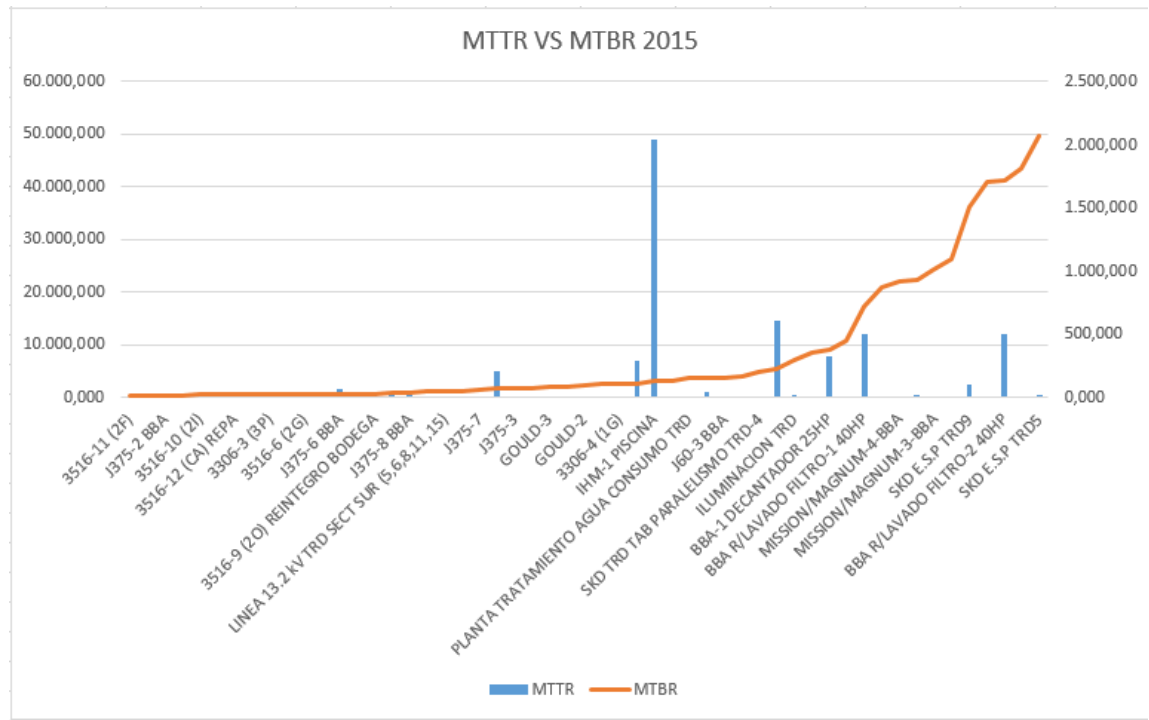
En el top 10 de Pareto de Fallas aparecen dos bombas National J375 con 18 y 14 fallas respectivamente, fuera de este top está un generador Caterpillar 3516 con 5 fallas.

Figura 33. Pareto Fallas 2015



- **MTTR vs MTBR 2015**

Figura 34. MTTR vs MTBR 2015

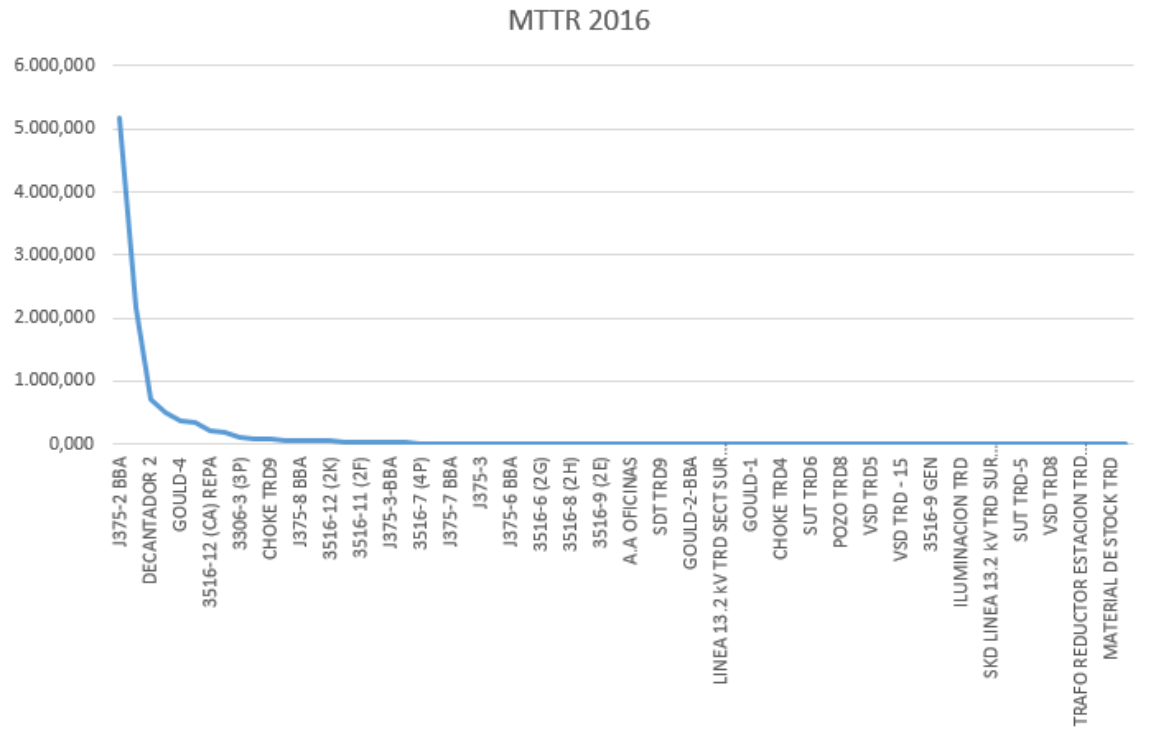


Aquí puede observarse un comportamiento interesante, ya que se observan algunas bombas con un corto tiempo entre fallas y un tiempo considerable para reparar.

2. Año 2016

- MTTR

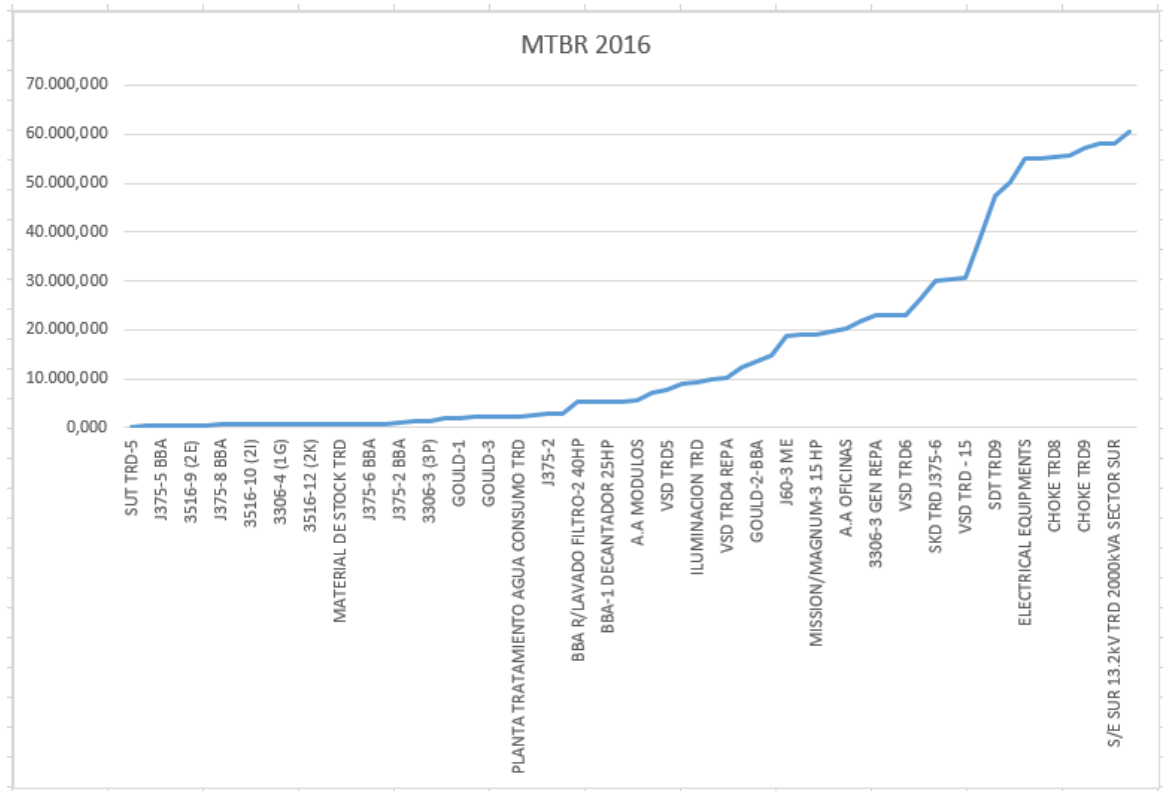
Figura 35. MTTR 2016



En el año 2016 aparecen 2 bombas National dentro del top 10 de equipos con mayor tiempo para reparar con un promedio de 2631 horas. En cambio, uno de los generadores Caterpillar 3516 aparece al final de la lista con apenas 1 hora como tiempo de reparación.

- MTBR

Figura 36. MTBR 2016

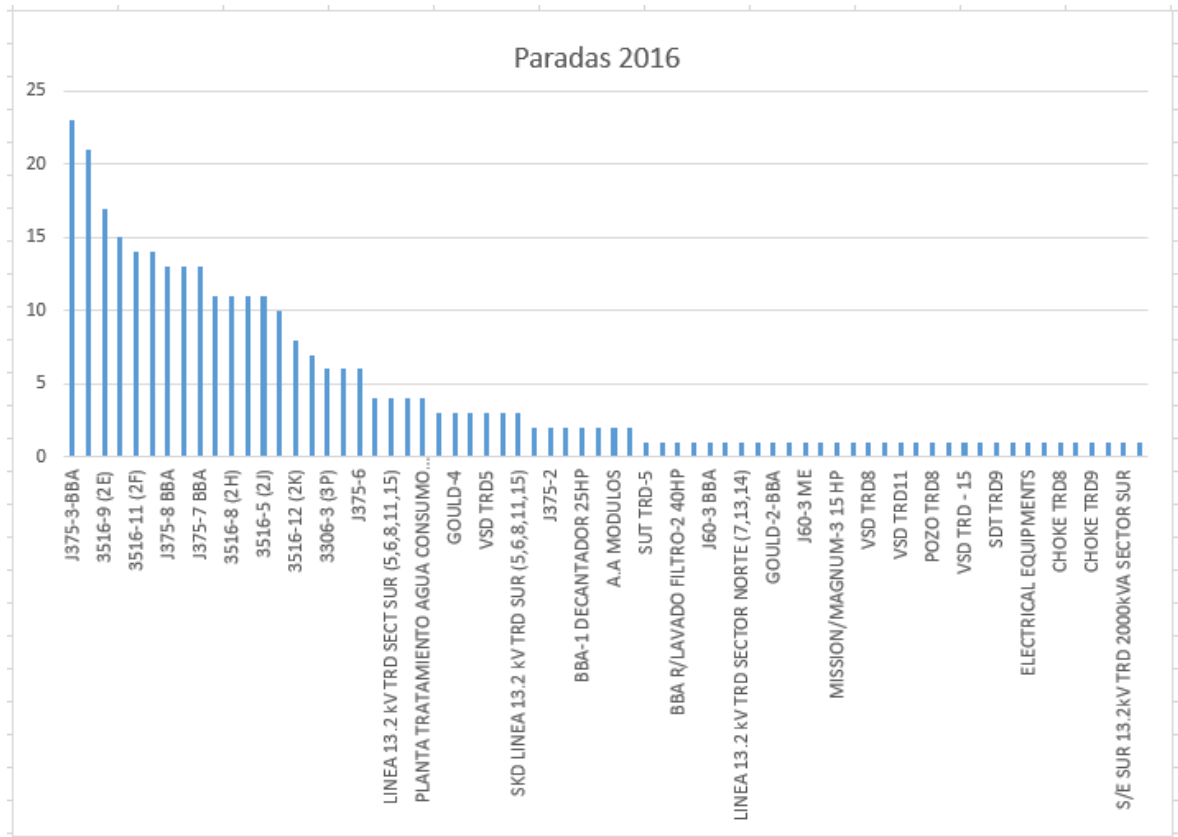


Se puede observar que entre el top 10 de los equipos que tienen un tiempo medio antes que se presente falla menor están 4 bombas National con un promedio de 490 horas, al final de la lista general se encuentra el Generador Caterpillar con un tiempo entre fallas de 12328 horas.

- **Pareto Fallas**

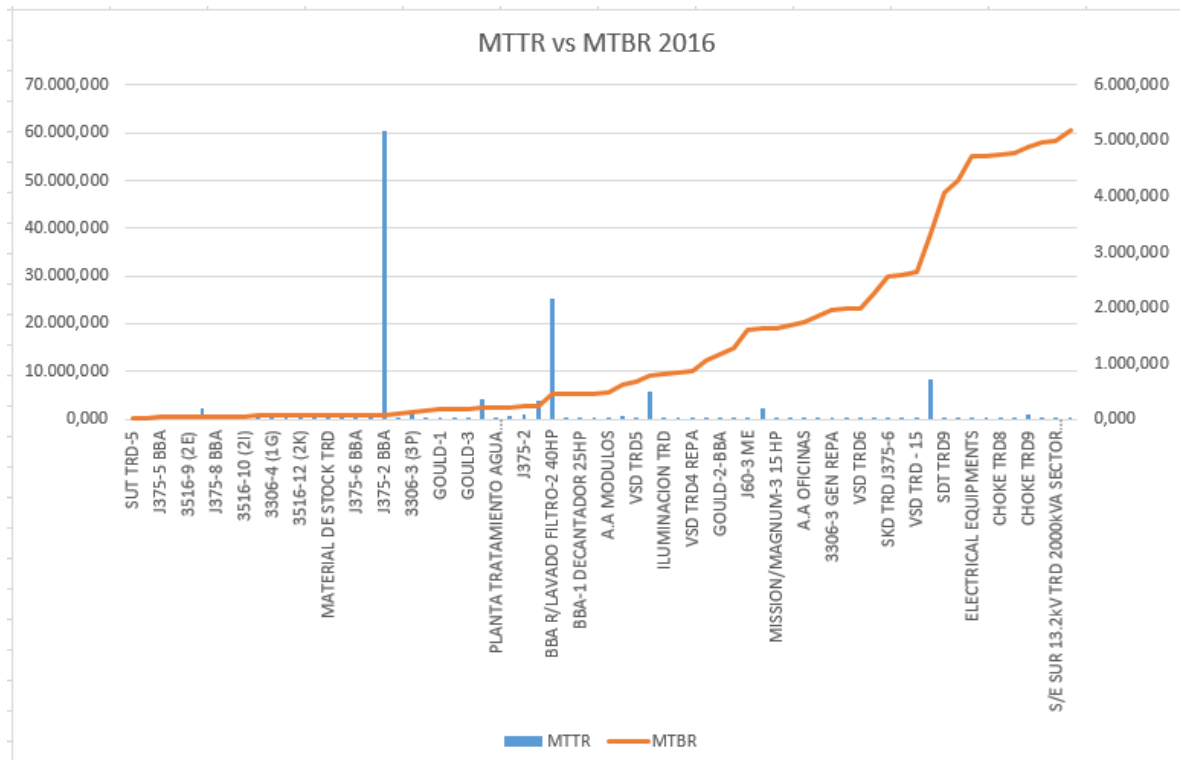
En el Top 10 del Pareto de Fallas aparecen 4 bombas National con 23, 21 y 13 Fallas en el desarrollo del año 2016, mientras que al final de la lista aparece un Generador Caterpillar con apenas una falla.

Figura 37. Pareto Fallas 2016



- **MTTR vs MTBR**

Figura 38. MTTR vs MTBR 2016

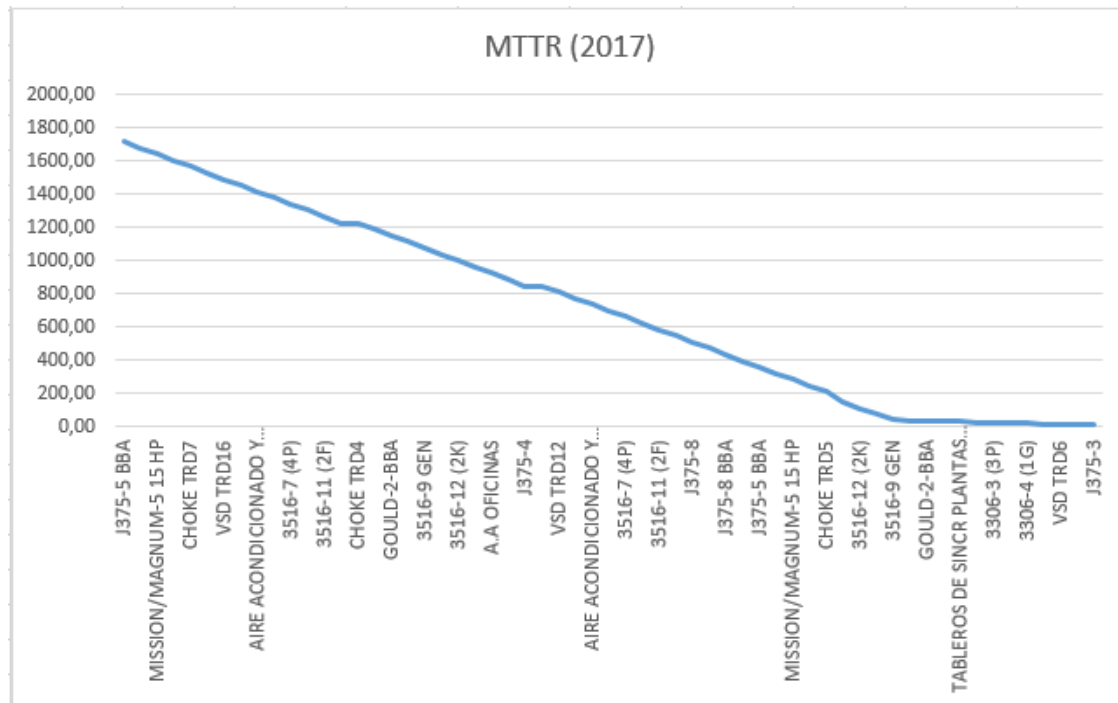


Se sigue observando que la tendencia de algunas bombas National de presentar un alto tiempo de reparación y un bajo tiempo entre fallas, la cual se observó también en el año 2015, sin embargo en este año aparecen más equipos presentando esta problemática.

3. Año 2017

- MTTR

Figura 39. MTTR 2017

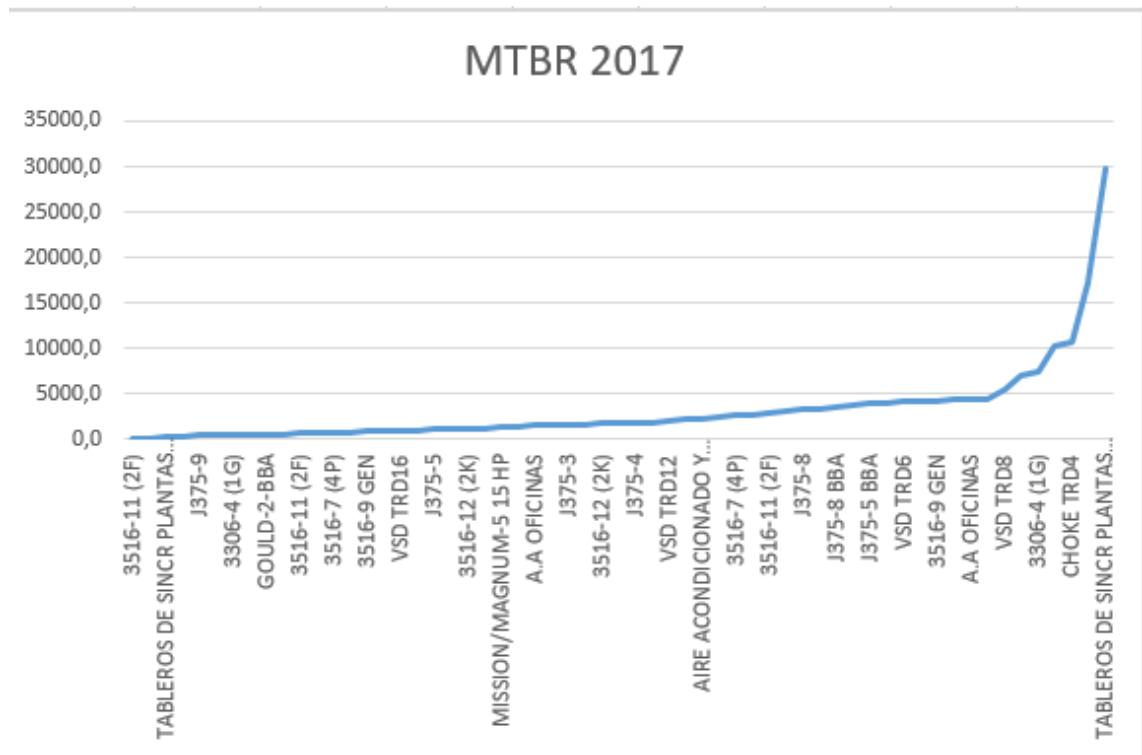


En el Top 10 de los equipos que requieren más tiempo para reparar aparecen dos bombas National con un tiempo promedio de 1625,25 horas, por otra parte, entre el listado de los veinte equipos con un promedio de 1077 horas.

- **MTBR**

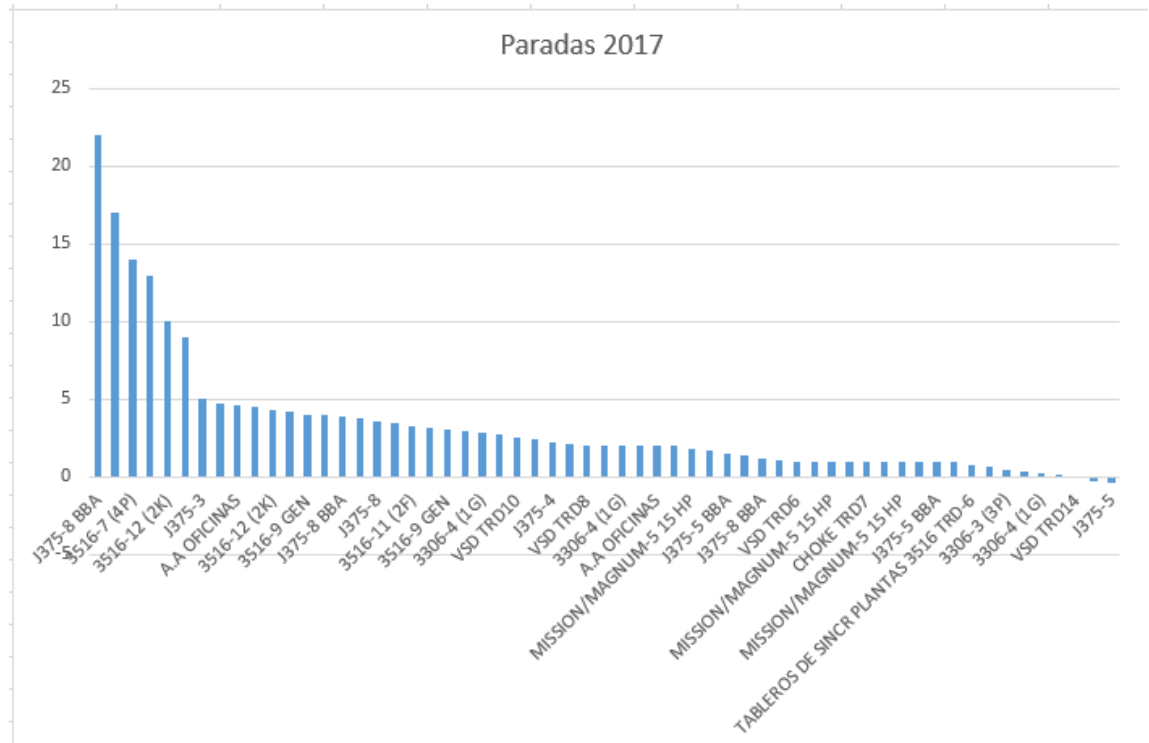
En el Top 10 de los equipos que tienen un menor tiempo entre fallas se encuentran tres bombas National con un tiempo promedio de 435,4 horas, mientras que en el listado aparece una bomba Caterpillar con un tiempo promedio de 843,5 horas.

Figura 40. MTTR 2017



- Pareto Paradas

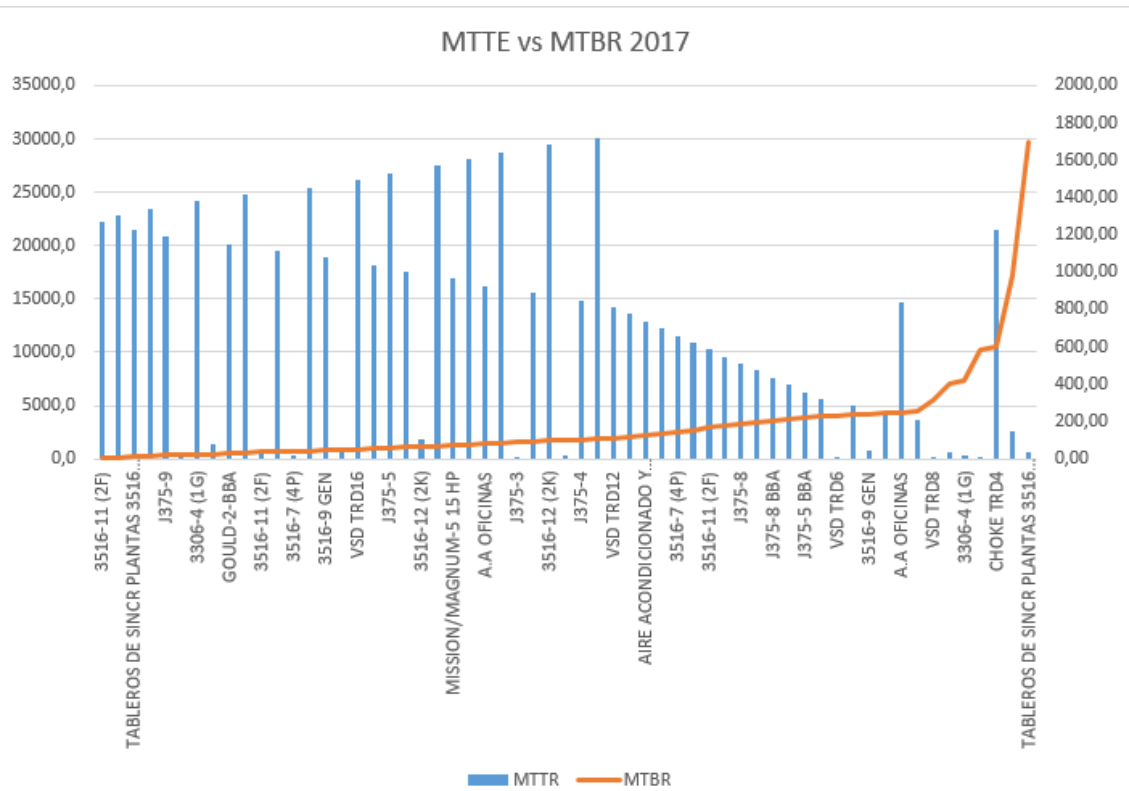
Figura 41. Pareto Paradas 2017



En el Top 10 del Pareto de Fallas aparecen 4 bombas National con 22, 17, 9 y 5 fallas a lo largo del año 2017, por otra parte, en la mitad de la lista se encuentran los generadores Caterpillar con 4, 3 y 1 paradas.

- MTTR vs MTBR

Figura 42. MTTR vs MTBR 2017



Se puede observar que la problemática de altos tiempos de reparación y bajos tiempos entre fallas está en aumento, lo cual debe ser analizado y diagnosticado.

10.4 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD

A esta altura nos centraremos en el análisis de parámetros de Confiabilidad y Disponibilidad de los Equipo en estudio, es decir de las bombas National y de los Generadores Caterpillar de la Estación Trinidad para determinar de manera cuantitativa el comportamiento de estos parámetros.

Se determinan los parámetros para Confiabilidad y Disponibilidad según las siguientes ecuaciones:¹³

1. Confiabilidad

$$C = e^{\frac{-t}{MTTF}}$$

Donde t= Periodo Considerado

MTTF: Tiempo Promedio para Fallar

Esta ecuación de la Confiabilidad tiene una distribución exponencial, de acuerdo con los datos que entrega SAP el parámetro con que se cuenta es el MTBR así que teniendo en cuenta:

$$MTTF=MTBR-MTTR$$

2. Disponibilidad

$$D = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \times 100$$

Donde:

MTTF: Tiempo Promedio para Fallar

MTTR: Tiempo Promedio para Fallar

Esta ecuación hace relación de la Disponibilidad Inherente o Intrínseca que define la disponibilidad que tiene en cuenta los mantenimientos no planeados (Correctivos) incluye daños, fallas o pérdidas de funcionalidad.¹⁴

¹³ Amendola Luis, "Gestión Integral de Activos Físicos". PMM Institute for Learning. Valencia, España (2011).

¹⁴ Mora Gutiérrez Alberto, "Mantenimiento, Planeación, Ejecución y Control". Alfaomega Colombiana S.A, Bogotá D.C, 2009.

3. Mantenibilidad

$$M = 1 - e^{-\mu t}$$

O también

$$M = 1 - e^{\frac{-t}{MTTR}}$$

Donde:

μ : Tasa de Reparaciones ó Número Total de Reparaciones

t: Tiempo Promedio para Reparar

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

- **Año 2015**

Tabla 13. Cálculo Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad 2015

Equipo	Parad.ef.	MTTR	MTRR	MTBR	MTBR	MTTF	Confiabilidad	Disponibilidad	Mantenibilidad
J375-7 BBA	18	3,194	H	479,102	H	475,908	1,01386E-08	99,33775109	1,000000000
J375-2 BBA	14	24,071	H	510,602	H	486,531	1,51537E-08	95,49799597	1,000000000
J375-3-BBA	12	4,251	H	707,461	H	703,210	3,88977E-06	99,40270784	1,000000000
J375-5 BBA	11	24,500	H	828,251	H	803,751	1,84786E-05	97,12694561	1,000000000
J375-6 BBA	10	68,100	H	757,182	H	689,082	3,01303E-06	91,74827514	1,000000000
J375-8 BBA	8	20,800	H	1.027,519	H	1.006,719	0,00016633	98,01587112	1,000000000
J375-5	8	3,375	H	1.130,661	H	1.127,286	0,000421843	99,7023904	1,000000000
J375-3	6	2,517	H	1.768,367	H	1.765,850	0,007007434	99,8578676	1,000000000
J375-8	5	7,000	H	1.279,483	H	1.272,483	0,001023857	99,45588088	1,000000000
J375-2	5	4,700	H	1.773,840	H	1.769,140	0,007072379	99,7357383	1,000000000
J375-8 REPA	3	211,667	H	1.714,883	H	1.503,216	0,002945414	89,01315824	1,000000000
J375-7	1	12,000	H	1.426,417	H	1.414,417	0,002042942	99,16574957	1,000000000
J375-6	1	288,000	H	2.722,333	H	2.434,333	0,027364146	90,4329521	1,000000000
3516-10 GEN	5	13,200	H	3.090,407	H	3.077,207	0,058033357	99,57468842	1,000000000
3516-5-GEN	2	3,750	H	4.193,467	H	4.189,717	0,123584105	99,91065508	1,000000000
3516-6-GEN	2	6,000	H	10.830,800	H	10.824,800	0,445190576	99,9446331	1,000000000

En el Cálculo de la Confiabilidad utilizando la ecuación de tendencia exponencial se puede observar que la magnitud de los resultados que arroja la formula no permite tomar decisiones respecto al desempeño del área respecto a este parámetro. Por otro lado, la Mantenibilidad obtenida por la formula exponencial se mantiene constante lo que indica que este parámetro no puede ser tomado tampoco como punto de análisis. El único parámetro que parece ser idóneo para hacer análisis es la Disponibilidad.

Se observa el comportamiento en términos de Disponibilidad, que la mayor parte de los equipos objeto de estudio exhiben una disponibilidad entre 97%-99%, fuera de esta media se encuentra la bomba J375-2 con 95%, J376-5 con 91%, la J-375-8 y el motor de la J375-6. La disponibilidad promedio para el año 2015 de estos equipos es de 97%.

Por otra parte, los Generadores Caterpillar exhibieron un buen comportamiento en el año 2015 con una disponibilidad promedio del 99%.

- **Año 2016**

Tabla 14. Cálculo Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad 2016

Equipo	Parad.ef.	MTTR	MTTR	MTBR	MTBR	MTTF	Confiabilidad	Disponibilidad	Mantenibilidad
J375-3-BBA	23	18,835	H	307,059	H	288,224	5,81183E-14	94,22051342	1,000000E+00
J375-5 BBA	21	7,619	H	400,091	H	392,472	1,90529E-10	98,13126978	1,000000E+00
J375-8 BBA	13	53,085	H	592,852	H	539,767	8,55908E-08	91,78170627	1,000000E+00
J375-7 BBA	13	8,769	H	661,015	H	652,246	1,41651E-06	98,69077195	1,000000E+00
J375-6 BBA	11	7,818	H	864,697	H	856,879	3,53167E-05	99,10396956	1,000000E+00
J375-3	10	8,270	H	857,037	H	848,767	3,20206E-05	99,04426984	1,000000E+00
J375-5	7	7,429	H	1.282,933	H	1.275,504	0,001021289	99,42427009	1,000000E+00
J375-7	6	12,667	H	1.835,319	H	1.822,652	0,008072023	99,31455108	1,000000E+00
J375-6	6	52,167	H	2.505,361	H	2.453,194	0,027857915	97,96025694	1,000000E+00
J375-2 BBA	3	5.183,528	H	925,244	H	-4.258,284	7,867991048	15,14615376	8,163271E-01
J375-2	2	80,000	H	2.735,642	H	2.655,642	0,036601182	97,1587297	1,000000E+00
SKD TRD J375-	1	0,100	H	30.040,450	H	30.040,350	0,746464877	99,99966712	1,000000E+00
3516-9 GEN	1	1,000	H	12.328,400	H	12.327,400	0,490387681	99,99188931	1,000000E+00

Para el año 2016 se observa el mismo comportamiento en términos de la Confiabilidad y Mantenibilidad que en el año 2015, lo cual significa que no permiten hacer análisis fiables del comportamiento de estos parámetros. Respecto a la disponibilidad el promedio para los equipos presenta resultados entre 97% y el 98%, sin embargo se observan algunos equipos que se encuentran fuera de esta media como es el caso de la bomba J375-3 con 94%, J375-8 con 91% y lo más notable la bomba J375-2 con 15%. La disponibilidad promedio de las bombas National para el año 2016 es de 91%.

En el caso de los Generadores Caterpillar se tiene el registro de solo un equipo el cual continúa con la tendencia de contar con una disponibilidad del 99%.

- Año 2017

Tabla 15. Cálculo Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad 2017

Equipo	Parad.ef	MTTR	MTRR	MTBR	MTBR	MTTF	Confiabilidad	Disponibilidad	Mantenibilidad
J375-5 BBA	17	78,272	H	435,338	H	357,066	2,21479E-11	84,76042133	1,000000000
J375-8 BBA	22	37,505	H	399,438	H	361,933	3,08041E-11	91,41650055	1,000000000
J375-7	9	35,111	H	887,200	H	852,089	3,42914E-05	96,1931496	1,000000000
J375-3	5	12,400	H	1.610,440	H	1.598,040	0,004162185	99,23590742	1,000000000
J375-5 BBA	4	359,167	H	3.847,715	H	3.488,548	0,081181068	91,46240196	1,000000000
J375-8 BBA	4	434,754	H	3.531,482	H	3.096,729	0,059084202	89,0386338	0,999999998
J375-8	4	510,341	H	3.215,249	H	2.704,909	0,039220471	86,30175049	0,999999965
J375-4	2	850,482	H	1.792,202	H	941,720	9,12301E-05	67,81749319	0,999966368
J375-5 BBA	2	1.039,450	H	1.001,621	H	-37,829	3,7069E+100	49,0733061	0,999781240
J375-8 BBA	1	1.115,037	H	685,388	H	-429,649	715686865,5	38,06813038	0,999612674
J375-9	1	1.190,624	H	369,155	H	-821,468	42780,24906	23,66715535	0,999362202
J375-5	0	1.530,765	H	1.053,892	H	-476,873	95025733,79	40,77492023	0,996728898
J375-5 BBA	1	1.719,733	H	1.844,474	H	124,741	3,17267E-31	51,74991138	0,993865429
3516-9 GEN	3	41,000	H	4.213,611	H	4.172,611	0,122529323	99,03633963	1,000000000
3516-9 GEN	4	396,960	H	3.689,599	H	3.292,638	0,069914624	90,28620006	1,000000000
3516-9 GEN	1	1.077,243	H	843,504	H	-233,739	1,88961E+16	43,91542104	0,999705982

Para el año 2017 se mantiene la tendencia en el cálculo de la Confiabilidad y Mantenibilidad. Por otro lado, se observa que para el año 2017 la disponibilidad de los equipos ha bajado de tener un promedio de 97% en el 2015 y 91% en el 2016 para tener en el 2017 un 70%. Aparecen equipos con una disponibilidad de 23% (bomba J375-9), 38% (bomba J375-8), 40% (bomba J375-5).

En el caso de los generadores Caterpillar se observa que también se presenta una disminución en la disponibilidad, pasó de tener un promedio del 99% al 77%, esto debido a que el generador Caterpillar 3516-6 tuvo una disponibilidad del 43% y el 3516-5 del 90%.

Esto significa que se ha reducido la disponibilidad a lo largo de estos años de manera dramática. Es necesario determinar las causas de esta problemática.

10.5 IDENTIFICACIÓN DE MALOS ACTORES

Los malos actores son aquellos equipos o componentes que presentan una alta frecuencia de fallas lo que afecta la operatividad de la planta y además plantean un impacto económico en una organización.¹⁵

De acuerdo con los datos obtenidos de disponibilidad de los años 2015, 2016 y 2017 encontrando una tendencia descendente de 97% en el 2015, 91% en el 2016 y un 70% para el 2017, se evidencia entonces la aparición de una problemática que debe ser detectada ya que afecta los indicadores de gestión de mantenimiento. De acuerdo con el historial de fallas se determinarán los Malos Actores para de generar un plan de acción para eliminarlos a través de la implementación de planes de Mejora.

A través de la transacción de SAP MC17 se puede acceder a la información respecto al Análisis de Paradas presentadas por las bombas como se muestra a continuación.

Figura 43. Transacción SAP Análisis Paradas

The screenshot displays the SAP MC17 transaction 'Análisis paradas: Selección'. The interface includes a menu bar with options like 'Análisis paradas', 'Tratar', 'Pasara a', 'Vista', 'Detalles', 'Opciones', 'Sistema', and 'Ayuda'. Below the menu, there are navigation icons and a search field. The main content area is divided into several sections:

- Caract.:** A table with three rows: 'Clase de objeto' (value: a), 'Ubicación técnica' (value: a), and 'Equipo' (value: a). Each row has a search icon to its right.
- Delimt. caracterét.:** A section with a checkbox labeled 'Jerarquía ubic.técnicas' which is currently unchecked.
- Período análisis:** A section with 'Mes' set to '06.2018' and 'a' followed by '08.2018', with a search icon to the right.
- Parámetros:** A section with a field labeled 'Excepción'.

The SAP logo is visible at the bottom left, and the transaction code 'MC17' and user 'pró6a' are shown at the bottom right.

¹⁵CASTAÑEDA Pereira Juan José. Especialización en Gerencia de Mantenimiento 2013. Monografía para acceder a Especialización “Estrategias para Mejoras y Eliminación de Malos Actores de las Plantas del Departamento de Operaciones y Mantenimiento del Área Norte de la VIT-ECOPETROL”. Universidad Industrial Santander. Pág. 63.

Figura 44. SAP: Listado Básico Paradas

Quantidad Clase de objeto: 4

Clase de objeto	Parad.ef.	MnTmToRepair	MnTmBetRepair
Total	324	27.653 H	2.253.845 H
BOMBA_RECIPROCANTE	167	44.121 H	3.652.079 H
MOTOR_ELECTRICO	49	11.111 H	702.945 H
MOTOR_GAS_ATIEMPOS	20	17.680 H	1.562.351 H
	88	7.878 H	621.106 H

Figura 45. SAP: Desglose Paradas

Quantidad Equipo: 53

Equipo	Parad.ef.	MnTmToRepair	MnTmBetRepair
Total	324	27.653 H	2.253.845 H
LINEA 13.2 KV TRD SE	8	2.188 H	1.182.214 H
S/E NORTE 13.2KV TRD	1	1.000 H	41.056.717 H
A.A. MODULOS	1	2.000 H	21.012.133 H
SDT IRDS	2	18.500 H	22.398.084 H
J60-3 REPA	1	0.100 H	8.641.667 H
J375-8 REPA	3	211.667 H	1.714.883 H
J375-2	5	4.700 H	1.773.840 H
MISSION/MAGNUM-5 1S	1	48.000 H	3.787.717 H
GOULD-3	4	2.125 H	2.098.167 H
GOULD-4	5	7.800 H	2.512.810 H
J375-3	6	2.517 H	1.768.367 H
J375-6	1	288.000 H	2.722.333 H
J375-5	6	3.375 H	1.130.661 H
J375-8	5	7.000 H	1.279.483 H
GOULD-1	4	1.750 H	2.099.621 H
GOULD-2	4	9.000 H	2.342.117 H
J375-7	1	12.000 H	1.426.417 H
3306-3 (3P)	14	5.250 H	613.554 H
3516-12 (2K)	12	16.000 H	649.462 H
3306-4 (IG)	4	2.875 H	2.680.925 H
3516-7 (4E)	16	8.125 H	590.156 H
3516-11 (2E)	22	4.545 H	410.166 H
3516-12 (CA) REPA	15	13.967 H	561.730 H
3516-9 (2E)	17	4.426 H	539.809 H
3516-5 (2U)	13	9.462 H	792.069 H
3516-10 (2I)	18	5.472 H	536.999 H
3516-8 (2B)	18	10.611 H	510.702 H

La información se exporta a Excel para hacer el tratamiento correspondiente para la determinación de los malos actores como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 16. Reporte de Fallas exportado a Excel

Clase de aviso	Aviso	Grupo p	Denominaci	Equipo	Descripción	Grupo cód	TextoGrpF	Cód.par	TextoCódPartObj
ZD	10077949	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NATIO-0103	FLVTRD J375-5 BBA CAMBIO DE VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga
ZD	10078283	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NATIO-0103	FLVTRD J375-5 REVISION DE VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga
ZD	10070065	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NATIO-0103	FLVTRD J375-5 CAMBIO VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga
ZD	10067454	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NATIO-0103	FLVTRD J375-5 REVISION VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga
ZD	10066934	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NATIO-0103	FLVTRD J375-5 BBA REVISION VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga
ZD	10081488	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NATIO-0103	FLVTRD J375-5 BBA REVISION VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga
ZD	10080866	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NATIO-0103	NSS TRD J375-5 CAMBIO SELLOS CONOS CULAT	BOMBA	Bombas	P235	Sellos Conos
ZD	10077314	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NATIO-0103	NSS TRD J375-5 CAMBIO SELLOS STUFF BOX	BOMBA	Bombas	P234	Sellos
ZD	10081125	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NATIO-0103	FLVTRD J375-5 BBA FUGA CONOS	BOMBA	Bombas	P233	Sello Mecánico
ZD	10067454	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NATIO-0103	FLVTRD J375-5 REVISION VALVULAS	BOMBA	Bombas	P217	Culata
ZD	10079666	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NATIO-0103	FLVTRD J375-5 CAMBIO CULATA DERECHAYC	BOMBA	Bombas	P217	Culata

LISTADO MALOS ACTORES

1. Bombas National

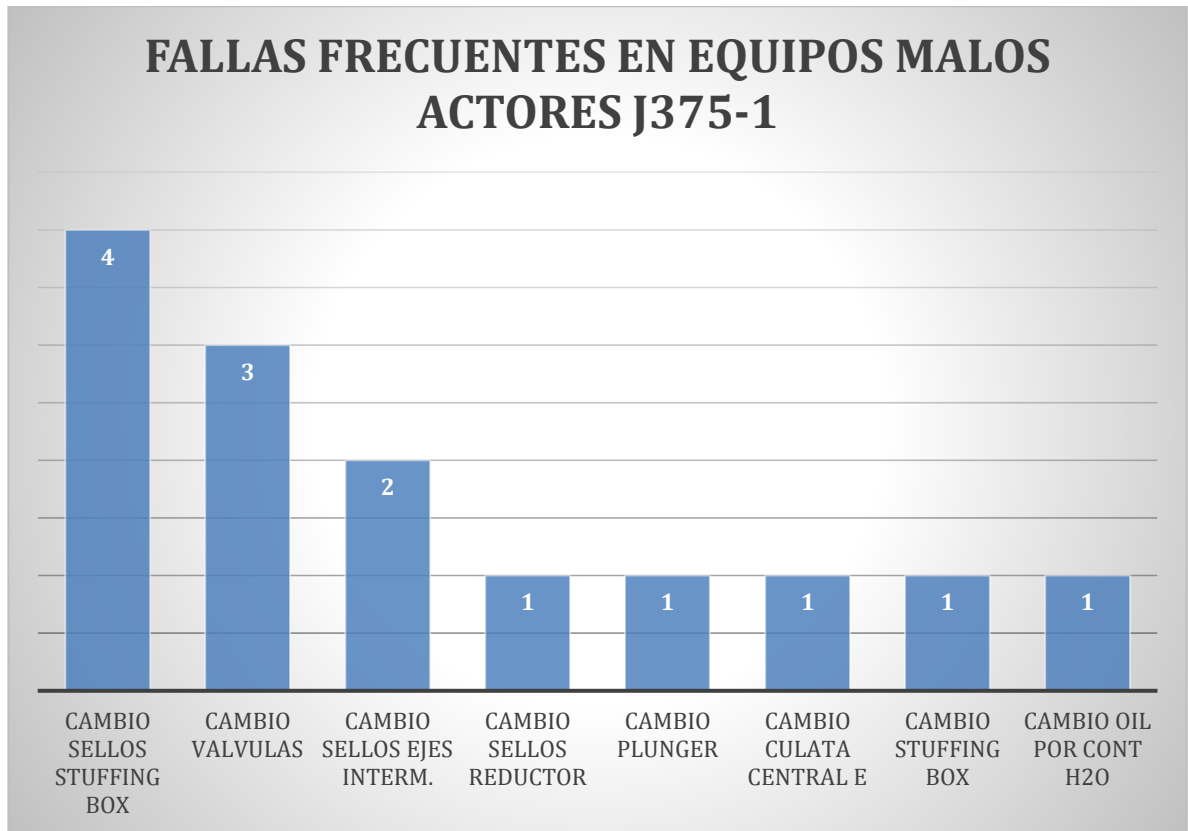
- Bomba J375-1

Tabla 17. Fallas Bomba J375-1

Tipo de Falla	Frecuencia
CAMBIO SELLOS STUFFING BOX	4
CAMBIO VALVULAS	3
CAMBIO SELLOS EJES INTERM.	2
CAMBIO SELLOS REDUCTOR	1
CAMBIO PLUNGER	1
CAMBIO CULATA CENTRAL E	1
CAMBIO STUFFING BOX	1
CAMBIO OIL POR CONT H2O	1

Para la bomba J375-1 se observa que las fallas más recurrentes son el cambio de sellos del Stuffing Box y el cambio de Válvulas.

Figura 46. Malos Actores Bombas J375-1



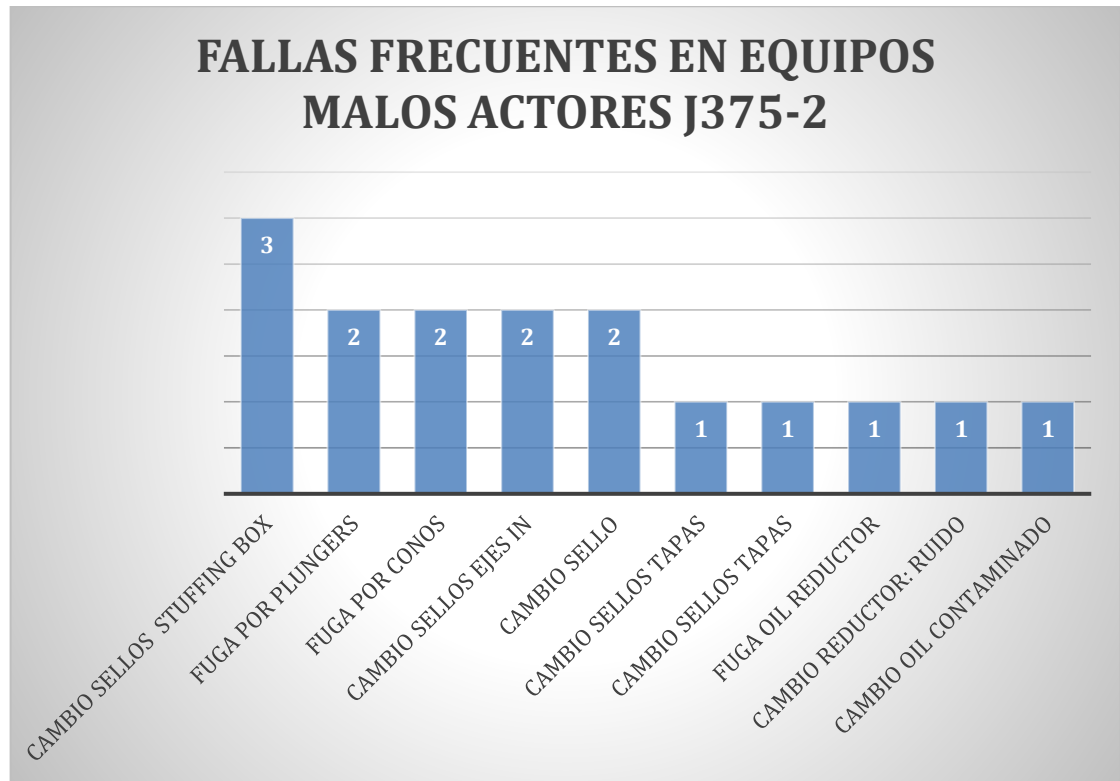
- Bomba J375-2

Tabla 18. Fallas Bomba J375-2

Tipo de Falla	Frecuencia
CAMBIO SELLOS STUFFING BOX	3
FUGA POR PLUNGERS	2
FUGA POR CONOS	2
CAMBIO SELLOS EJES IN	2
CAMBIO SELLO	2
CAMBIO SELLOS TAPAS	1
CAMBIO SELLOS TAPAS	1
FUGA OIL REDUCTOR	1
CAMBIO REDUCTOR: RUIDO	1
CAMBIO OIL CONTAMINADO	1

Para la bomba J375-2 se observa que las fallas más recurrentes son el cambio de sellos del Stuffing Box y fuga por plungers, conos y sellos.

Figura 47. Malos Actores Bombas J375-2



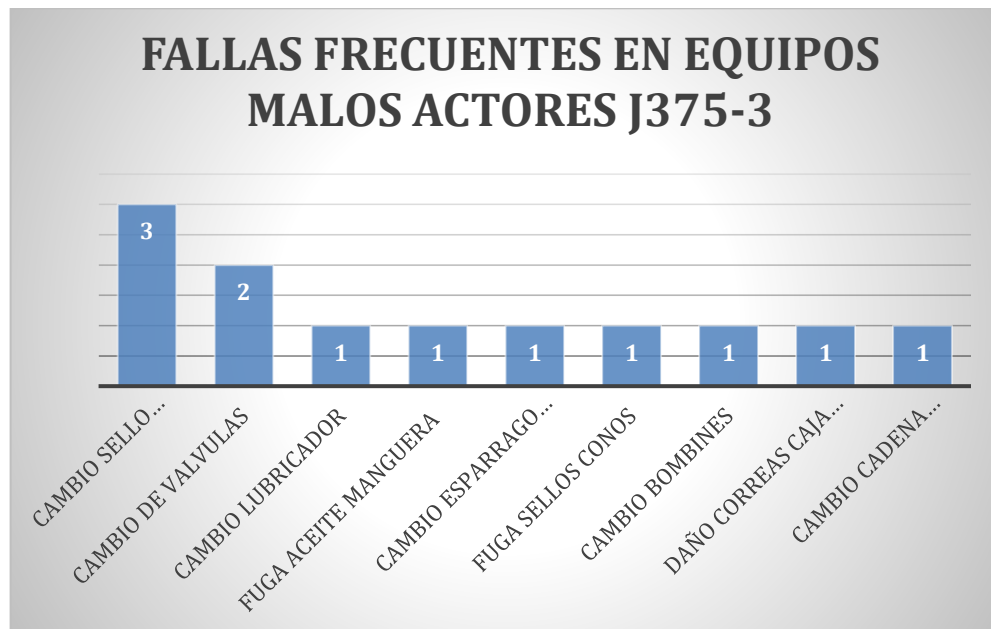
- Bomba J375-3

Tabla 19. Fallas Bomba J375-3

Tipo de Falla	Frecuencia
CAMBIO SELLO STUFFING BOX	3
CAMBIO DE VALVULAS	2
CAMBIO LUBRICADOR	1
FUGA ACEITE MANGUERA	1
CAMBIO ESPARRAGO CHAPETA	1
FUGA SELLOS CONOS	1
CAMBIO BOMBINES	1
DAÑO CORREAS CAJA LUBRICA	1
CAMBIO CADENA LUBRICACION	1

Para la bomba J375-3 se observa que las fallas más recurrentes son el cambio de sellos del Stuffing Box y cambio de válvulas.

Figura 48. Malos Actores Bombas J375-3



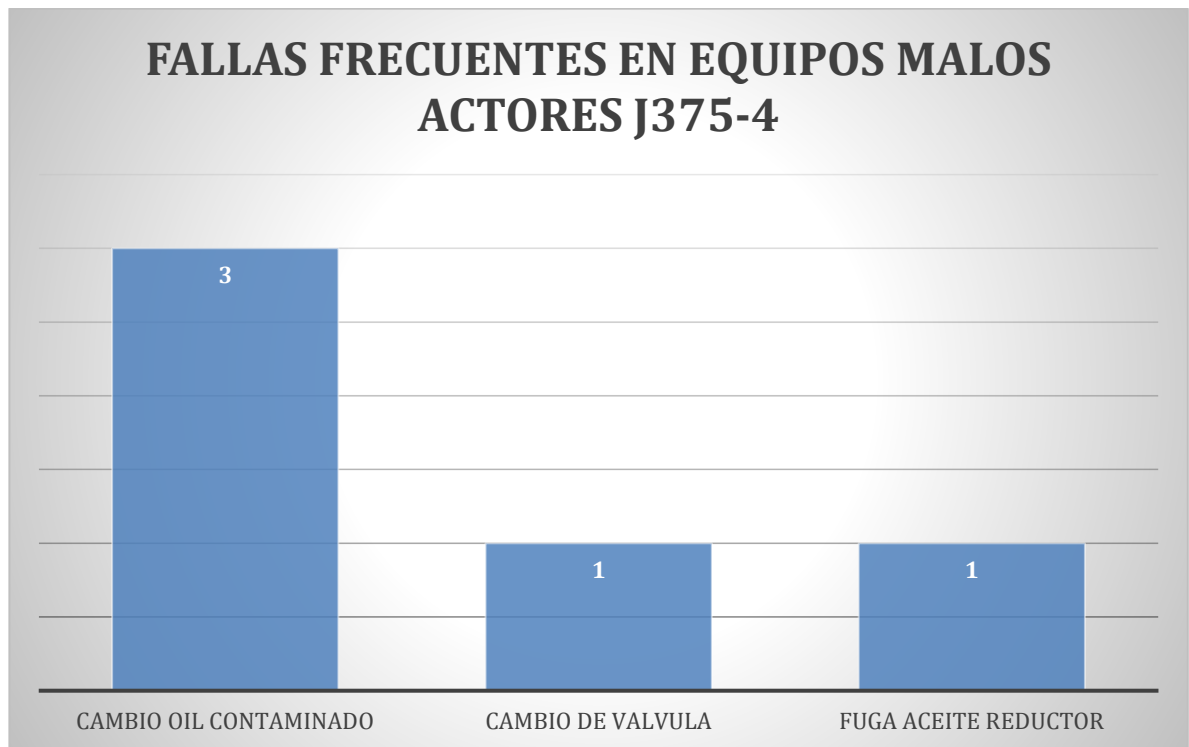
- Bomba J375-4

Tabla 20. Fallas Bomba J375-4

Tipo de Falla	Frecuencia
CAMBIO OIL CONTAMINADO	3
CAMBIO DE VALVULA	1
FUGA ACEITE REDUCTOR	1

Para la bomba J375-4 se observa que las fallas más recurrentes son el cambio de aceite contaminado y cambio de válvulas.

Figura 49. Malos Actores Bombas J375-4



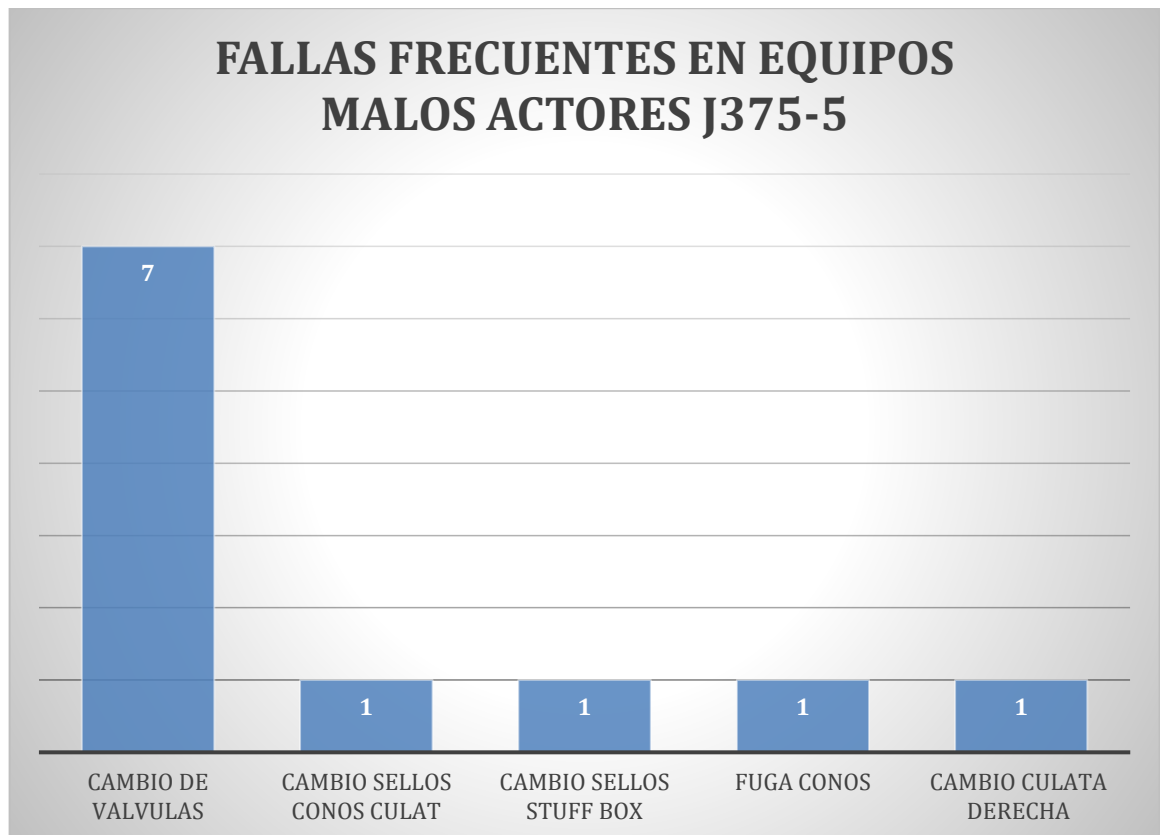
- **Bomba J375-5**

Tabla 21. Fallas Bomba J375-5

Tipo de Falla	Frecuencia
CAMBIO DE VALVULAS	7
CAMBIO SELLOS CONOS CULAT	1
CAMBIO SELLOS STUFF BOX	1
FUGA CONOS	1
CAMBIO CULATA DERECHA	1

Para la bomba J375-5 se observa que las fallas más recurrentes son el cambio de válvulas y cambio de sellos.

Figura 50. Malos Actores Bombas J375-5



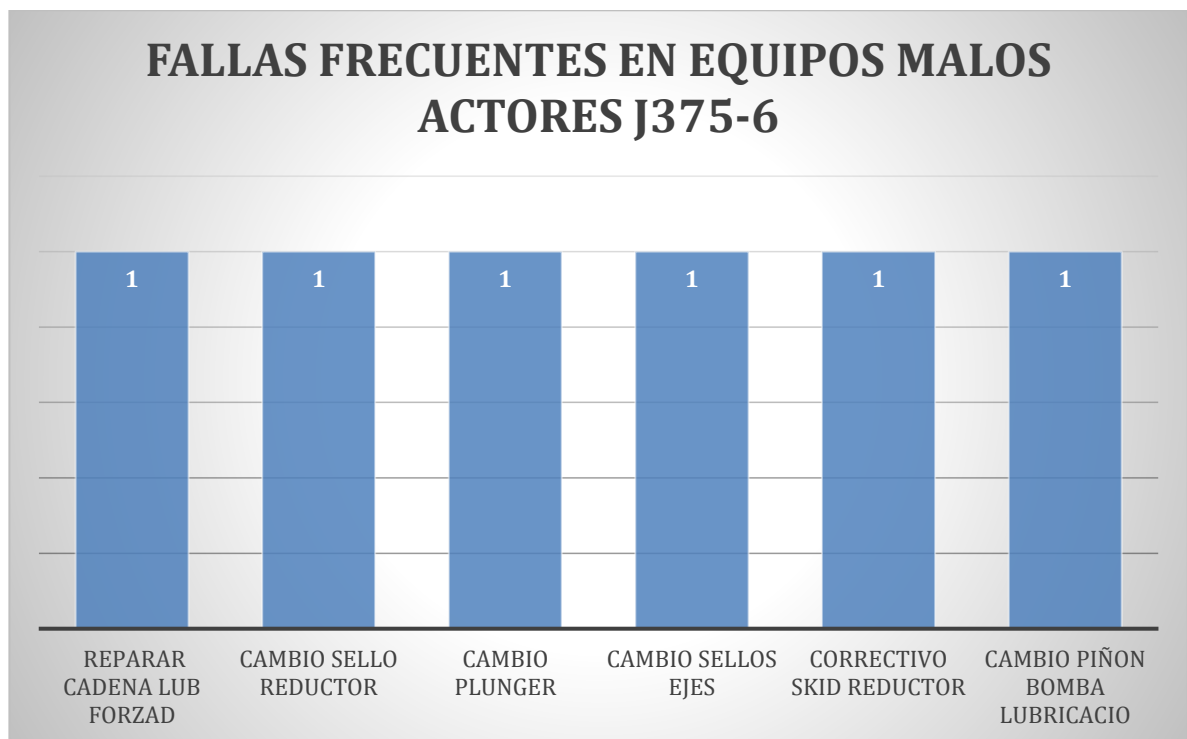
- Bomba J375-6

Tabla 22. Fallas Bomba J375-6

Tipo de Falla	Frecuencia
REPARAR CADENA LUB FORZAD	1
CAMBIO SELLO REDUCTOR	1
CAMBIO PLUNGER	1
CAMBIO SELLOS EJES	1
CORRECTIVO SKID REDUCTOR	1
CAMBIO PIÑON BOMBA LUBRICACIO	1

Para la bomba J375-6 se observa que las fallas más recurrentes son la reparación de cadena y cambio de sellos.

Figura 51. Malos Actores Bombas J375-6



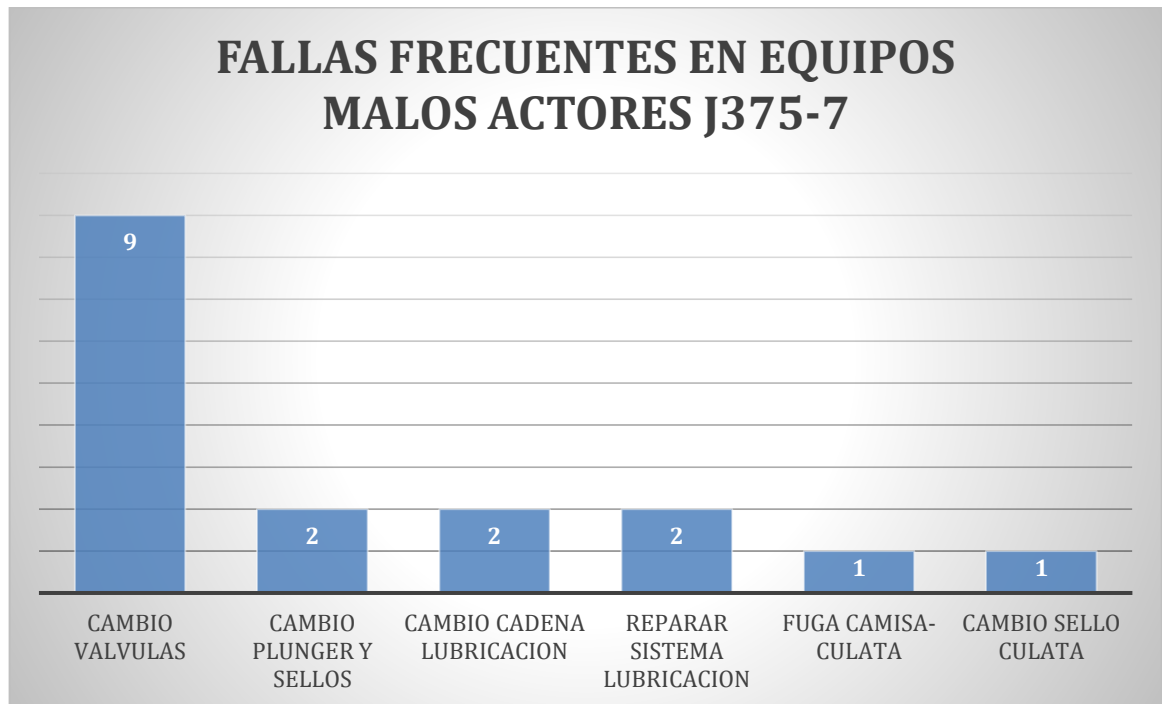
- Bomba J375-7

Tabla 23. Fallas Bomba J375-7

Tipo de Falla	Frecuencia
CAMBIO VALVULAS	9
CAMBIO PLUNGER Y SELLOS	2
CAMBIO CADENA LUBRICACION	2
REPARAR SISTEMA LUBRICACION	2
FUGA CAMISA-CULATA	1
CAMBIO SELLO CULATA	1

Para la bomba J375-7 se observa que las fallas más recurrentes son el cambio de válvulas y cambio de sellos.

Figura 52. Malos Actores Bombas J375-7



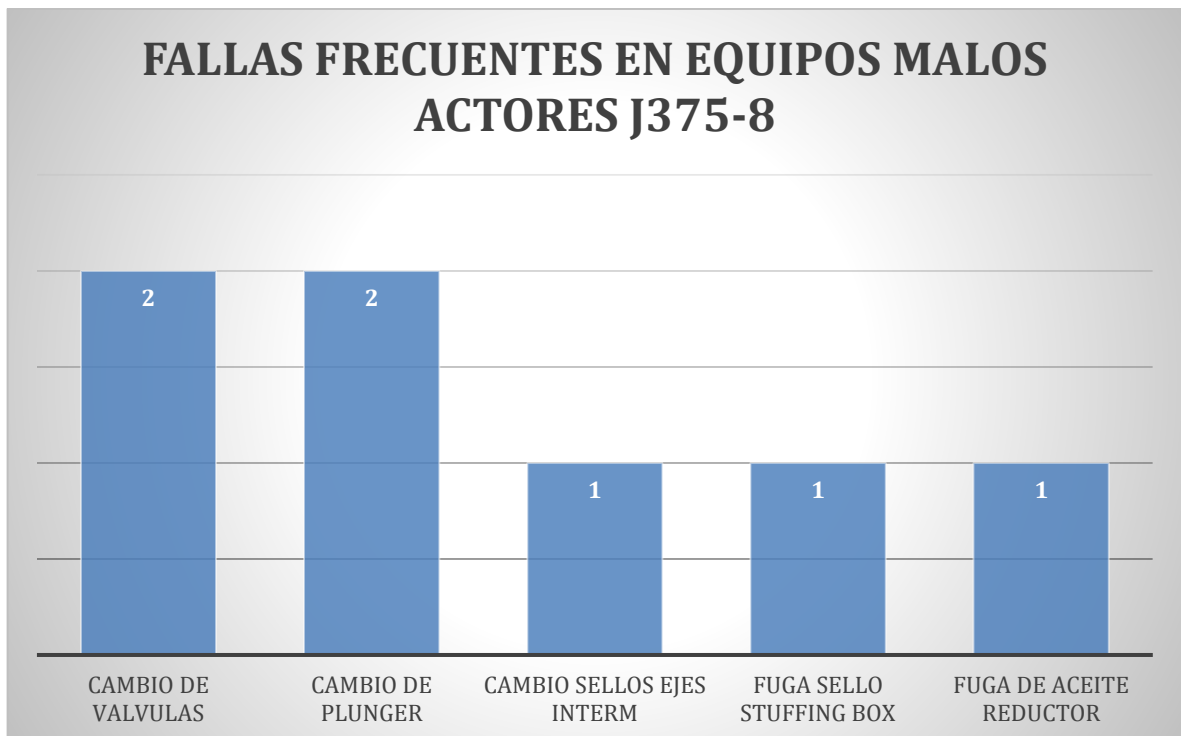
- Bomba J375-8

Tabla 24. Fallas Bomba J375-8

Tipo de Falla	Frecuencia
CAMBIO DE VALVULAS	2
CAMBIO DE PLUNGER	2
CAMBIO SELLOS EJES INTERM	1
FUGA SELLO STUFFING BOX	1
FUGA DE ACEITE REDUCTOR	1

Para la bomba J375-8 se observa que las fallas más recurrentes son el cambio de válvulas y cambio de plunger.

Figura 53. Malos Actores Bombas J375-8



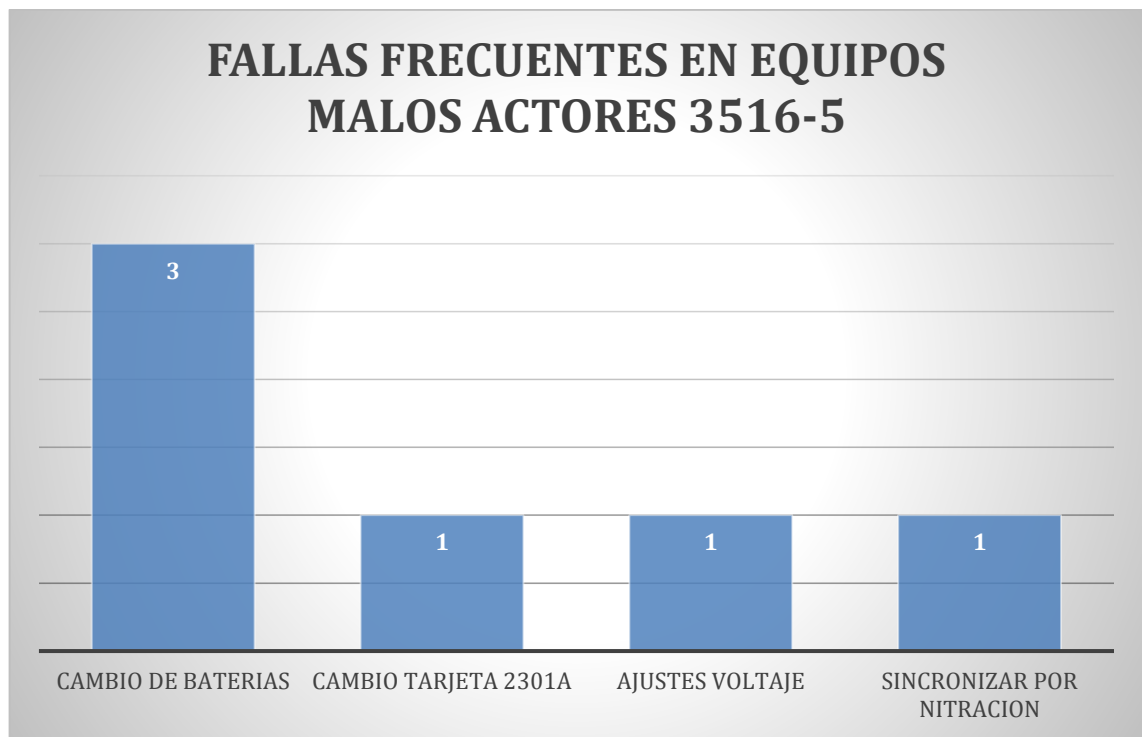
2. Generadores Caterpillar

- **Generador 3516-5**

Tabla 25. Falla Generador 3516-5

Tipo de Falla	Frecuencia
CAMBIO DE BATERIAS	3
CAMBIO TARJETA 2301A	1
AJUSTES VOLTAJE	1
SINCRONIZAR POR NITRACION	1

Figura 54. Malos Actores Generador Caterpillar 3516-5



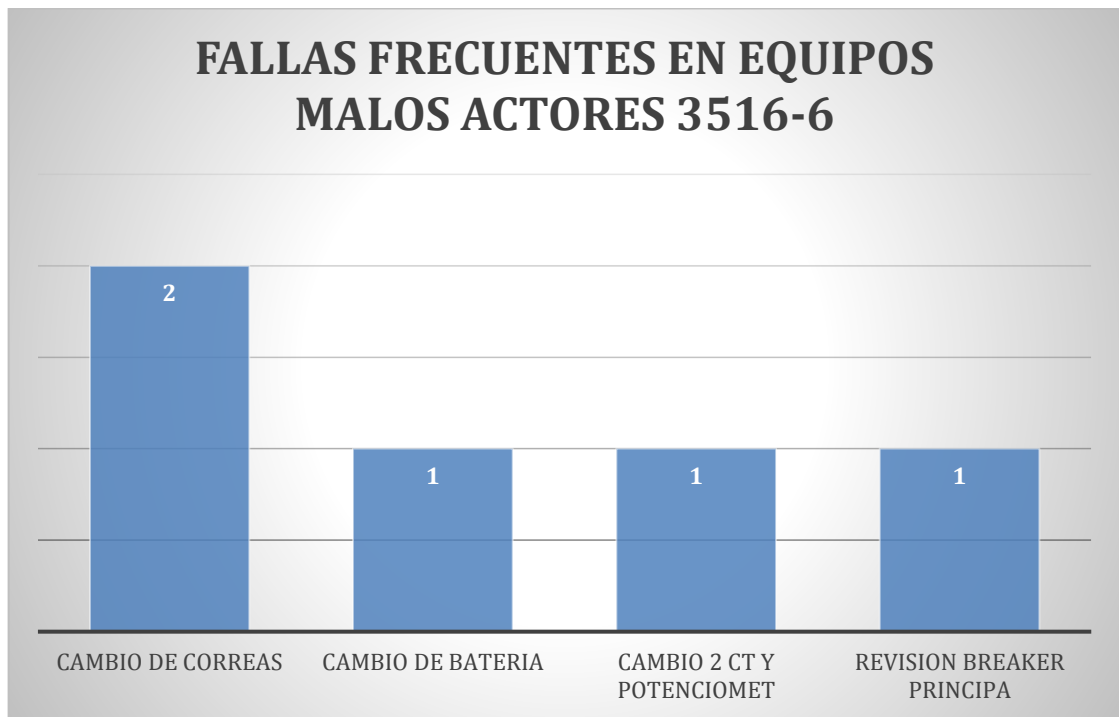
Para el generador 3516-5 la falla más frecuente es el cambio de baterías, seguido por el cambio de tarjeta, ajustes en voltaje.

- **Generador 3515-6**

Tabla 26. Falla Generador 3516-6

Tipo de Falla	Frecuencia
CAMBIO DE CORREAS	2
CAMBIO DE BATERIA	1
CAMBIO 2 CT Y POTENCIOMET	1
REVISION BREAKER PRINCIPA	1

Figura 55. Malos Actores Generador Caterpillar 3516-6



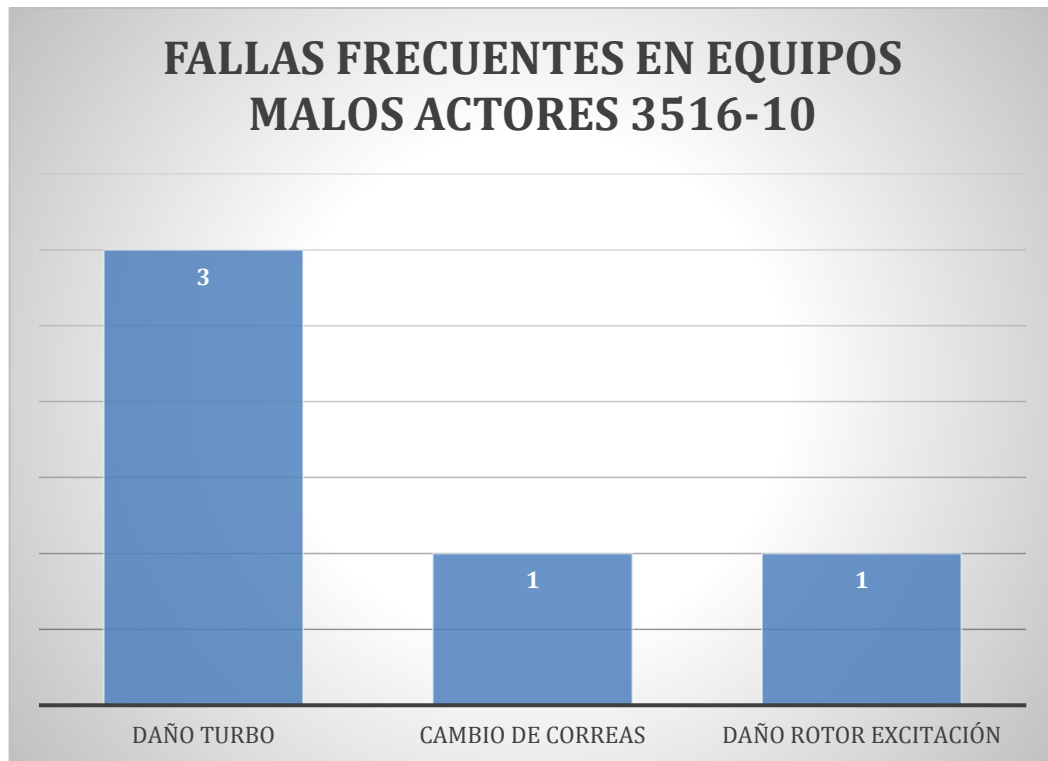
Para el generador 3516-5 la falla más frecuente es el cambio de correas, seguido por cambio de baterías, potenciómetro y revisión del breaker.

- **Generador 3515-10**

Tabla 27. Falla Generador 3516-10

Tipo de Falla	Frecuencia
DAÑO TURBO	3
CAMBIO DE CORREAS	1
DAÑO ROTOR EXCITACIÓN	1

Figura 56. Malos Actores Generador Caterpillar 3516-10



Para el generador 3516-10 la falla más frecuente es el daño del turbo, el cambio de correas y daño al rotor.

LISTADO GENERAL DE MALOS ACTORES

- **Bombas National**

Haciendo una consolidación de los datos obtenidos en todas las bombas se puede observar una marcada tendencia del cambio de válvulas con un 30,8% y cambio del sello stuffing box con el 15,4% como los malos actores, es de resaltar que en general el tema de los sellos es un actor recurrente de fallos. Tal como se muestra en la tabla y grafica que se muestra a continuación.

Figura 57. Malos Actores Bombas

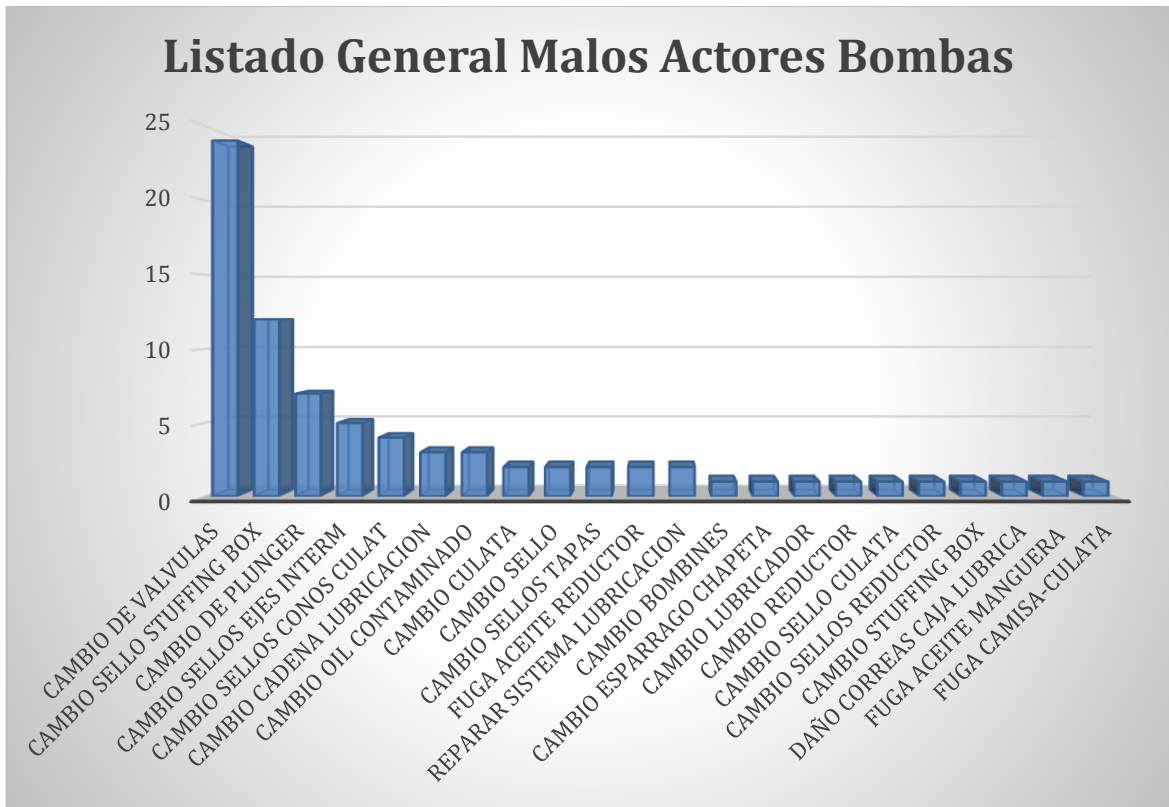


Tabla 28. Listado General Malos Actores Bombas National

Tipo de Falla	Frecuencia	Porcentaje
CAMBIO DE VALVULAS	24	30,8%
CAMBIO SELLO STUFFING BOX	12	15,4%
CAMBIO DE PLUNGER	7	9,0%
CAMBIO SELLOS EJES INTERM	5	6,4%
CAMBIO SELLOS CONOS CULAT	4	5,1%
CAMBIO CADENA LUBRICACION	3	3,8%
CAMBIO OIL CONTAMINADO	3	3,8%
CAMBIO CULATA	2	2,6%
CAMBIO SELLO	2	2,6%
CAMBIO SELLOS TAPAS	2	2,6%
FUGA ACEITE REDUCTOR	2	2,6%
REPARAR SISTEMA LUBRICACION	2	2,6%
CAMBIO BOMBINES	1	1,3%
CAMBIO ESPARRAGO CHAPETA	1	1,3%
CAMBIO LUBRICADOR	1	1,3%
CAMBIO REDUCTOR	1	1,3%
CAMBIO SELLO CULATA	1	1,3%
CAMBIO SELLOS REDUCTOR	1	1,3%
CAMBIO STUFFING BOX	1	1,3%
DAÑO CORREAS CAJA LUBRICA	1	1,3%
FUGA ACEITE MANGUERA	1	1,3%
FUGA CAMISA-CULATA	1	1,3%
Total	78	100%

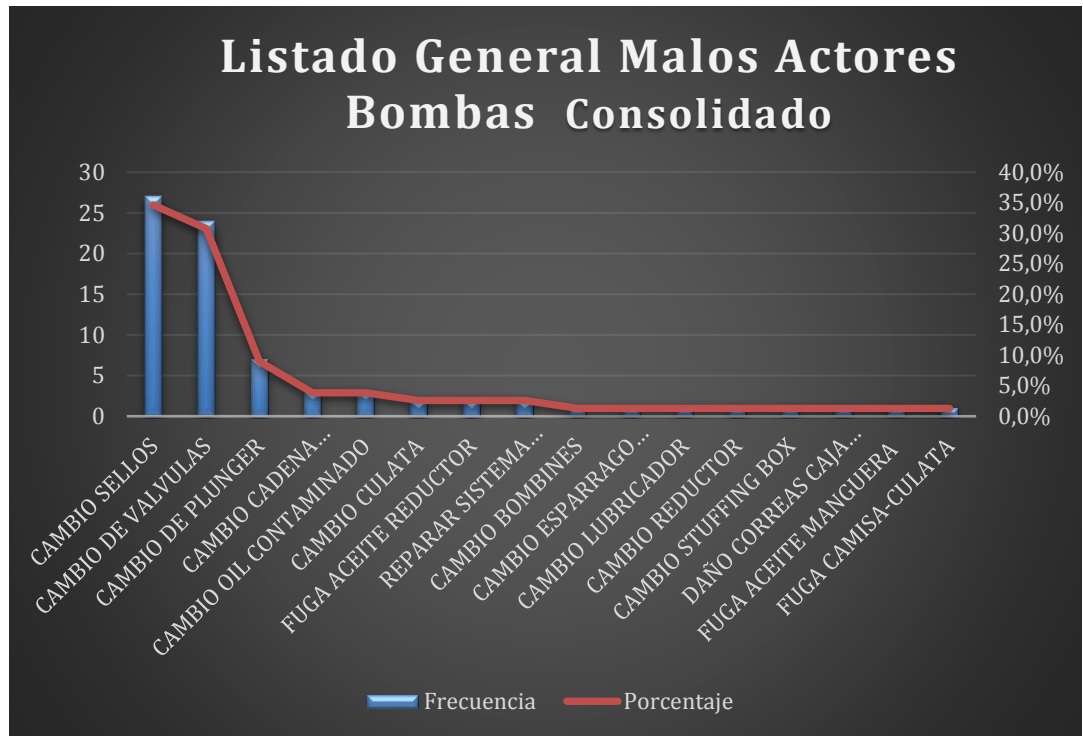
Si se consolida el cambio de sellos en un solo ítem sin discriminar el tipo de sello al que se hace referencia, se puede evidenciar que la problemática de sellos entra a encabezar el listado de malos actores con el 34,6%, seguido por el cambio de

válvulas con el 30,8% como se observa en la tabla y gráfico que se muestra a continuación.

Tabla 29. Listado Consolidado Malos Actores Bomba National

Tipo de Falla	Frecuencia	Porcentaje
CAMBIO SELLOS	27	34,6%
CAMBIO DE VALVULAS	24	30,8%
CAMBIO DE PLUNGER	7	9,0%
CAMBIO CADENA LUBRICACION	3	3,8%
CAMBIO OIL CONTAMINADO	3	3,8%
CAMBIO CULATA	2	2,6%
FUGA ACEITE REDUCTOR	2	2,6%
REPARAR SISTEMA LUBRICACION	2	2,6%
CAMBIO BOMBINES	1	1,3%
CAMBIO ESPARRAGO CHAPETA	1	1,3%
CAMBIO LUBRICADOR	1	1,3%
CAMBIO REDUCTOR	1	1,3%
CAMBIO STUFFING BOX	1	1,3%
DAÑO CORREAS CAJA LUBRICA	1	1,3%
FUGA ACEITE MANGUERA	1	1,3%
FUGA CAMISA-CULATA	1	1,3%
Total	78	100%

Figura 58. Malos Actores Bombas Consolidado



- **Generadores Caterpillar**

Al consolidar los datos de los generadores se observa que la falla más recurrente es el daño de baterías con un 24% seguido del daño el turbo con 18%, daño de correas con 12% y daño de breaker principal también con 12%, como se observa en la tabla y gráfico que se muestra a continuación.

Tabla 30. Listado Consolidado Malos Actores Generador Caterpillar

Tipo de Falla	Frecuencia	Porcentaje
CAMBIO DE BATERIAS	4	24%
DAÑO TURBO	3	18%
CAMBIO DE CORREAS	2	12%
REVISION BREAKER PRINCIP	2	12%
CAMBIO TARJETA 2301A	1	6%
AJUSTES VOLTAJE	1	6%
SINCRONIZAR POR NITRACION	1	6%
CAMBIO 2 CT Y POTENCIOMET	1	6%
CAMBIO DE CORREAS	1	6%
DAÑO ROTOR EXCITACIÓN	1	6%
Total	17	100%

Figura 59. Malos Actores Generadores Consolidado



10.6 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ MALOS ACTORES

Como se vio anteriormente, existen principalmente dos malos actores que están afectando el comportamiento de la disponibilidad de los equipos, estos son el daño de válvulas y el daño de Sellos. Así que siguiendo los lineamientos del análisis del método de Ishikawa – Causa Efecto (Método de Espina de Pescado) y se realizó el análisis de las posibles causas de estos fallos incluyendo algunos planes de mejora como se muestran a continuación.

- **Bombas National**

Tabla 31. Análisis Causas Desgaste Válvulas

Falla	Posible Causa	Factor Causal	Correccion
Desgaste Valvulas	Corrosión	Materia Prima/Ambiente	Tratamiento del Fluido de Trabajo
	Particulas Abrasivas en el Fluido de Trabajo	Materia Prima	Revisar el sistema de Filtrado
	Instalación incorrecta de la Valvula	Mano de Obra	Revisar si la instalación de la valvula corresponde a lo estipulado
	Lubricación Incorrecta	Metodo de Trabajo	Revisar manual de operación
	Lubricador No Funciona Adecuadamente	Maquinaria y Equipo	Revisar estado de lubricador
	Tuerca de Ajuste Floja	Metodo de Trabajo	Hacer revision y ajustes correspondientes
	Incrustaciones ó acumulaciones de producto en embolo	Materia Prima	Tratamiento del Fluido de Trabajo

Tabla 32. Análisis Causas Fugas en Sellos

Falla	Posible Causa	Factor Causal	Corrección
Fugas en Sellos	Embolo no adecuado para el servicio que está realizando	Maquinaria y Equipo	Revisar y corregir de ser necesario
	Bomba no nivelada	Mano de Obra	Revisar y corregir de ser necesario
	Sellos dañados ó deteriorados	Maquinaria y Equipo	Revisar y corregir de ser necesario
	Nivel de Aceite muy alto	Maquinaria y Equipo / Mano de Obra	Revisar y corregir de ser necesario
			Verificar si la integridad del empaque o reemplazarlo. Revisar el catalogo para identificar si la temperatura de operación corresponde al tipo de empaque.
	Temperatura del fluido anormal	Maquinaria y Equipo	
	Tipo de sello no adecuado para el fluido de trabajo	Maquinaria y Equipo / Materia Prima	Revisar en las recomendaciones del Fabricante
	Particulas Abrasivas en el Fluido de Trabajo	Materia Prima	Revisar el sistema de Filtrado

- **Generadores Caterpillar**

Tabla 33. Análisis Causas Daño Baterías

Falla	Posible Causa	Factor Causal	Corrección
Daño de Baterías	El cargador de bateria no funciona	Maquinaria y Equipo	Verificar estado de cargador y cambiar de ser necesario
	Nivel de Liquido Electrolytico Inadecuado	Maquinaria y Equipo	Completar nivel adecuado
	El alternador no funciona adecuadamente	Maquinaria y Equipo	Revisar alternador
	Características Tecnicas de Baterias debajo de Especificacion	Materia Prima	Revisar recomendaciones Fabricante y cambiar de ser necesario
	Borneras en mal Estado	Maquinaria y Equipo / Mano de Obra	Verificar estado de bornes, si presentan sulfatacion y cambiar de ser necesario
	Daño en Placas	Maquinaria y Equipo	Revisar si hay desgaste por corrosion, calor excesivo
			Revisar si hay presencia de impurezas en superficie de la bateria y medir con multímetro
	Autodescargas	Maquinaria y Equipo / Mano de Obra	

Tabla 34. Análisis Causas Daño de Turbo

Falla	Posible Causa	Factor Causal	Corrección
Daño de Turbo	Lubricacion Inadecuada	Mano de Obra	Revisar recomendaciones de Fabrica Hacer analisis de aceite para verificar contenido de metales
	Vibraciones	Maquinaria y Equipo / Mano de Obra	Revisar Alineacion de la pieza
	Fatiga Mecánica	Maquinaria y Equipo	Revisar si se presenta desgaste mecanico por abrasion y cambiar de ser necesario Hacer analisis de aceite para verificar contenido de metales
	Temperaturas Elevadas	Maquinaria y Equipo	Verificar si la temperatura de llama es anormal y corregir Verificar presencia de fluencia termica
	Particulas Abrasiva	Maquinaria y Equipo	Verificar que el sistema de filtracion este funcionando adecuadamente
	Desgaste en alabes	Maquinaria y Equipo	Verificar presencia de impacto, fisura, corrosion,

10.7 IMPLEMENTACIÓN DE RECOMENDACIONES

La siguiente fase para gestión de malos actores es la de la implementación, en la cual se requiere generar órdenes de mantenimiento Proactivas para la realización de una revisión cuidadosa y exhaustiva de las posibles causas que permitan minimizarlas hasta llegar a eliminarlas de manera definitiva. Este es un esfuerzo mancomunado que se está realizando actualmente tanto con el Planeador, así como el Supervisor y el Ingeniero Líder. En esta etapa se está involucrando al personal técnico para tener una visión más global de las diferentes problemáticas y por supuesto de sus soluciones.

Esta fase de implementación que actualmente se está empezando a ejecutar está siendo evaluada por parte de Perenco para definir su idoneidad, oportunidades de mejora y crear una manera sistemática de aplicar estas recomendaciones en otras estaciones y distritos.

Así mismo se recomienda emplear técnicas de Mantenimiento Predictivo tales como Análisis con Ultrasonido, Termografías y análisis de Vibraciones para complementar las rutinas de mantenimiento Preventivo que se maneja actualmente en Perenco con el fin de adoptar metodologías basadas en Condición CBM.

11 CONCLUSIONES

La gestión de mantenimiento requiere de un fuerte trabajo de equipo, es importante contar con una participación decidida, activa y siempre encaminada a obtener resultados por parte de todos los actores que participan en los procesos Productivos, así como el área de Planeación, Coordinación y Supervisión de Mantenimiento junto al área de Producción. Es necesario que las empresas consideren al área de Mantenimiento como un área aleada a los intereses organizacionales.

La Sistemática de Análisis y Gestión de Mantenimiento según los lineamientos de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad es una herramienta poderosa que permite a la organización enfocarse en lo que realmente le da valor agregado. Los indicadores CMD permite evidenciar fallas sistemáticas que hacen menos efectiva la gestión de mantenimiento, ahí radica su importancia, es por esto que para sacarle el mayor provecho a esta herramienta se deben hacer análisis concienzudos de las problemáticas y evidenciar las causas que generan para implementar acciones de mejora.

La estrategia de mantenimiento enfocada en los indicadores CMD permite tener información actualizada del comportamiento de los equipos, para lo cual una pieza fundamental para tener datos veraces, confiables y disponibles es el software de mantenimiento. Esta información debe ser analizada por el equipo de mantenimiento para definir hacia donde se enfocan los esfuerzos, a través de diferentes técnicas de análisis causa- raíz es posible identificar las causas de las principales problemáticas y dar soluciones tangibles a las mismas.

En el caso de estudio presentado el uso de indicadores CMD permitió evidenciar que se estaba presentando un descenso en la disponibilidad de las bombas National J375 y de los generadores Caterpillar 3516 usados en el proceso de tratamiento de

agua, la identificación de esta problemática fue posible a partir de los reportes de SAP de MTBR y MTTR, esta información se consolidó y se realizó el cálculo los indicadores de gestión de Mantenimiento (Disponibilidad) que fue la base para indagar respecto a las fallas más recurrentes que se estaban presentando.

El cálculo de parámetros de efectividad de Mantenimiento como Disponibilidad permitió la identificación de los malos actores, sin embargo, en el caso de la Confiabilidad y Mantenibilidad los resultados obtenidos no permitieron hacer análisis fiables ni tomar decisiones porque los datos no son consistentes ni coherentes, por lo cual será necesario en el futuro implementar una manera para obtener resultados más exactos a la realidad de la gestión.

El software de Mantenimiento es pieza fundamental para la gestión del área ya que suministra de manera inmediata información fundamental de la efectividad de la estrategia empleada, adicionalmente presenta el historial de las fallas que ha presentado un equipo. Gracias a esto fue posible determinar el listado de malos actores y planificar planes de mejora al respecto.

BIBLIOGRAFÍA

SUÁREZ, D. Mantenimiento Mecánico. Guía Teórico-Práctico. Primera Edición. Departamento de Mecánica. Universidad de Oriente, Venezuela. 2001.

MENDOZA MORA Jorge Armando. Estudio de Confiabilidad y Vulnerabilidad de las Bombas de Tres Tornillos Marca IMO, que se encuentran instaladas en el Oleoducto Apiay – Altos El Porvenir, de la Vicepresidencia de Transporte de Ecopetrol S. A. Universidad Industrial de Santander. 2014.

BORRÁS PINILLA, Carlos. Principios de Mantenimiento. Bucaramanga. Marzo 2003.

PÉREZ Carlos Mario. Definición de las Frecuencia para un Plan de Mantenimiento. Noviembre 2012.

AMENDOLA Luis, Gestión Integral de Activos Físicos. PMM Institute for Learning. Valencia, España 2011.

Mora Gutiérrez Alberto. Mantenimiento, Planeación, Ejecución y Control. Alfaomega Colombiana S.A, Bogotá D.C, 2009.

CASTAÑEDA Pereira Juan José. Estrategias para Mejoras y Eliminación de Malos Actores de las Plantas del Departamento de Operaciones y Mantenimiento del Área Norte de la VIT-ECOPETROL. Universidad Industrial Santander. Bucaramanga 2013.

LOZADA Rodríguez Mauricio, JAIMES Gil Leonardi Edilberto. Implementación de Indicadores CMD a los equipos eléctricos de las Subestaciones de Electrohuila S.A E.S.P. Universidad Industrial Santander. Bucaramanga 2016.

MOTATO Toro Oscar Fernando. Impacto de los Indicadores CMD de las bombas principales de la estación EBR, por cambio de las Propiedades Fisicoquímicas del Crudo Transportado por el Oleoducto.

En Línea

Página BNAméricas. Disponible en:

<https://www.bnamericas.com/company-profile/es/perenco-colombia-ltda-perenco-colombia>

Página Principal Perenco. Disponible en:

<http://www.perenco-colombia.com>

Portal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción. Definición Mantenimiento Correctivo. Disponible en:

http://www.construmatica.com/construpedia/Mantenimiento_Correctivo

El Análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional

Disponible en:

<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>

Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad.

Disponible en:

<https://prezi.com/hn4h962ww9so/disponibilidad-confiabilidadantenibilidad-y-capacidad/>

Especificaciones Técnicas Bomba National Oilwell

Disponible en:

https://www.rotatingright.com/pdf/pdfs_2009/technical/National/22%20RR%20NOV%20375T-7%20Technical%20Data%20Sheets.pdf

Especificaciones Técnicas Generador Caterpillar

Disponible en:

http://www.finanzauto.es/images/documentos/productos/soluciones_energeticas_propulsion/PR%201825%20_V06-12_%20-%203516_PGDI_182550P01.pdf

Manual de Instalación Generador Caterpillar

Disponible en:

ftp://ftp.conagua.gob.mx/OCPBC/aps/30_Junio_2017/PTAR%20San%20Pablo%200-Tecate/ESPECIFICACIONES%20TECNICAS/Electrico/--MANUAL%20INSTALACION%20PLANTA%20DE%20EMERGENCIA%20CATERPILLAR.pdf

ANEXOS

Anexo A. Reporte MTTR-MTBR 2015

Equipo	Parad. ef.	MTTR	MTTR	MTBR	MTBR
J60-3 REPA	1	0,100	H	8.641,667	H
S/E NORTE 13.2kV TRD 2000kVA SECTOR NORT	1	1,000	H	41.056,717	H
GOULD-3-BBA	1	1,000	H	43.514,467	H
MISSION/MAGNUM-3-BBA	1	1,000	H	24.334,233	H
MISSION/MAGNUM-4-BBA	1	1,000	H	22.099,283	H
J60-3 BBA	1	1,000	H	3.890,433	H
SKD E.S.P TRD15	1	1,000	H	26.291,417	H
PLANTA TRATAMIENTO AGUA CONSUMO TRD	2	1,500	H	3.659,842	H
GOULD-1	4	1,750	H	2.099,621	H
A.A MODULOS	1	2,000	H	21.012,133	H
GOULD-3	4	2,125	H	2.098,167	H
LINEA 13.2 kV TRD SECT SUR (5,6,8,11,15)	8	2,188	H	1.182,214	H
J375-3	6	2,517	H	1.768,367	H
3306-4 (1G)	4	2,875	H	2.680,925	H
SKD TRD TAB PARALELISMO TRD-4	1	3,000	H	4.848,367	H
J375-7 BBA	18	3,194	H	479,102	H
J375-5	8	3,375	H	1.130,661	H
3516-5-GEN	2	3,750	H	4.193,467	H
J375-3-BBA	12	4,251	H	707,461	H
3516-9 (2E)	17	4,426	H	539,809	H
3516-11 (2F)	22	4,545	H	410,166	H
J375-2	5	4,700	H	1.773,840	H
3306-3 (3P)	14	5,250	H	613,554	H
3516-10 (2I)	18	5,472	H	536,999	H
3516-6-GEN	2	6,000	H	10.830,800	H
3516-6 (2G)	12	6,208	H	690,136	H
J375-8	5	7,000	H	1.279,483	H

GOULD-4	5	7,800	H	2.512,810	H
3516-7 (4P)	16	8,125	H	590,156	H
GOULD-2	4	9,000	H	2.342,117	H
3516-5 (2J)	13	9,462	H	792,069	H
3516-8 (2H)	18	10,611	H	510,702	H
J375-7	1	12,000	H	1.426,417	H
3516-10 GEN	5	13,200	H	3.090,407	H
3516-12 (CA) REPA	15	13,967	H	561,730	H
3516-12 (2K)	12	16,000	H	649,462	H
ILUMINACION TRD	3	17,378	H	7.219,472	H
SKD E.S.P TRD5	1	18,000	H	49.567,53 3	H
SDT TRD8	2	18,500	H	22.398,08 4	H
J375-8 BBA	8	20,800	H	1.027,519	H
3516-9 (2O) REINTEGRO BODEGA	2	21,500	H	796,275	H
J375-2 BBA	14	24,071	H	510,602	H
J375-5 BBA	11	24,500	H	828,251	H
MISSION/MAGNUM-5 15 HP	1	48,000	H	3.787,717	H
J375-6 BBA	10	68,100	H	757,182	H
SKD E.S.P TRD9	1	100,000	H	36.141,83 3	H
J375-8 REPA	3	211,667	H	1.714,883	H
J375-6	1	288,000	H	2.722,333	H
BBA-1 DECANTADOR 25HP	1	330,000	H	9.185,383	H
BBA R/LAVADO FILTRO-1 40HP	1	500,000	H	17.366,85 0	H
BBA R/LAVADO FILTRO-2 40HP	1	500,000	H	41.296,10 0	H
IHM-2 PISCINA	2	603,500	H	5.541,909	H
IHM-1 PISCINA	1	2.040,00 0	H	3.085,983	H

Anexo B. Reporte MTTR-MTBR 2016

Equipo	Parad.ef	MTTR	MTTR	MTBR	MTBR
J375-2 BBA	3	5.183,52 8	H	925,244	H
BBA R/LAVADO FILTRO-2 40HP	1	2.160,00 0	H	5.245,067	H
DECANTADOR 2	1	720,000	H	38.974,41 7	H
J60-3 BBA	1	504,000	H	8.995,367	H
GOULD-4	3	362,667	H	2.277,956	H
IHM-1 PISCINA	2	343,000	H	2.871,050	H
3516-12 (CA) REPA	11	204,091	H	585,499	H
VEHICULO TRD	1	192,000	H	19.125,21 7	H
3306-3 (3P)	6	120,333	H	1.371,342	H
J375-2	2	80,000	H	2.735,642	H
CHOKE TRD9	1	72,000	H	57.057,68 3	H
SKD RED FOX PTAR TRD	3	62,000	H	7.191,500	H
J375-8 BBA	13	53,085	H	592,852	H
J375-6	6	52,167	H	2.505,361	H
3516-12 (2K)	8	48,000	H	739,294	H
BBA-1 DECANTADOR 25HP	2	39,500	H	5.370,584	H
3516-11 (2F)	14	31,919	H	603,090	H
GOULD-3-BBA	2	25,500	H	5.372,200	H
J375-3-BBA	23	18,835	H	307,059	H
3516-5 (2J)	11	16,382	H	865,430	H
3516-7 (4P)	15	13,067	H	456,262	H
J375-7	6	12,667	H	1.835,319	H
J375-7 BBA	13	8,769	H	661,015	H
3516-10 (2I)	13	8,385	H	642,726	H
J375-3	10	8,270	H	857,037	H
GOULD-2	1	8,000	H	5.355,450	H
J375-6 BBA	11	7,818	H	864,697	H
J375-5 BBA	21	7,619	H	400,091	H
3516-6 (2G)	14	7,436	H	683,408	H
J375-5	7	7,429	H	1.282,933	H
3516-8 (2H)	11	6,742	H	783,991	H

SENSOR TRD15	1	6,000	H	58.075,10 0	H
3516-9 (2E)	17	5,735	H	505,976	H
S/E SUR 13.2kV TRD 2000kVA SECTOR SUR	1	4,000	H	58.167,83 3	H
A.A OFICINAS	1	4,000	H	20.172,88 3	H
VSD TRD6	1	4,000	H	23.058,85 0	H
SDT TRD9	1	4,000	H	47.421,10 0	H
J60-3 ME	1	4,000	H	18.766,68 3	H
GOULD-2-BBA	1	4,000	H	13.657,18 3	H
A.A MODULOS	2	3,000	H	5.528,759	H
LINEA 13.2 kV TRD SECT SUR (5,6,8,11,15)	4	2,750	H	2.138,500	H
GOULD-3	4	2,250	H	2.194,863	H
GOULD-1	4	2,250	H	2.091,534	H
3306-4 (1G)	2	2,250	H	680,459	H
CHOKE TRD4	1	2,000	H	55.791,20 0	H
CHOKE TRD8	1	2,000	H	55.424,61 7	H
SUT TRD6	1	2,000	H	60.467,11 7	H
MISSION/MAGNUM-3 15 HP	1	2,000	H	19.172,45 0	H
POZO TRD8	1	2,000	H	26.312,88 3	H
PLANTA TRATAMIENTO AGUA CONSUMO TRD	4	1,775	H	2.392,175	H
VSD TRD5	3	1,033	H	7.876,033	H
LINEA 13.2 kV TRD SECTOR NORTE (7,13,14)	1	1,000	H	9.910,150	H
VSD TRD - 15	1	1,000	H	30.777,75 0	H
MECHANICAL EQUIPMENTS	1	1,000	H	55.148,65 0	H
3516-9 GEN	1	1,000	H	12.328,40 0	H

3306-3 GEN REPA	1	1,000	H	22.923,13 3	H
ILUMINACION TRD	1	1,000	H	9.321,433	H
VSD TRD4 REPA	3	0,733	H	10.059,01 1	H
SKD LINEA 13.2 kV TRD SUR (5,6,8,11,15)	3	0,733	H	19.706,97 2	H
SUT TRD8	2	0,100	H	30.233,51 7	H
SUT TRD-5	1	0,100	H	178,200	H
VSD TRD11	1	0,100	H	23.053,35 0	H
VSD TRD8	1	0,100	H	21.725,36 7	H
ELECTRICAL EQUIPMENTS	1	0,100	H	55.026,25 0	H
TRAFO REDUCTOR ESTACION TRD 300KVA	1	0,100	H	50.153,00 0	H
SDT TRD8	1	0,100	H	14.778,25 0	H
MATERIAL DE STOCK TRD	1	0,100	H	823,017	H
SKD TRD J375-6	1	0,100	H	30.040,45 0	H

Anexo C. Reporte MTTR-MTBR 2017

Equipo	Parad.ef	MTTR		MTBR	
		.			
J375-8 BBA	22	37,505	H	399,438	H
J375-5 BBA	17	78,272	H	435,338	H
3516-7 (4P)	14	19,571	H	726,585	H
3516-11 (2F)	13	23,712	H	629,859	H
3516-12 (2K)	10	107,500	H	1.168,293	H
J375-7	9	35,111	H	887,200	H
J375-3	5	12,400	H	1.610,440	H
CHOKE TRD5	5	207,99	H	4480,2	H
A.A OFICINAS	5	245,79	H	4322,1	H
MISSION/MAGNUM-5 15 HP	4	283,58	H	4163,9	H
3516-12 (2K)	4	321,37	H	4005,8	H
J375-5 BBA	4	359,17	H	3847,7	H
3516-9 GEN	4	396,96	H	3689,6	H
3306-3 (3P)	4	22,250	H	1.703,175	H
J375-8 BBA	4	434,75	H	3531,5	H
GOULD-2-BBA	4	472,55	H	3373,4	H
J375-8	4	510,34	H	3215,2	H
TABLEROS DE SINCR PLANTAS 3516 TRD-5	3	548,13	H	3057,1	H
3516-11 (2F)	3	585,93	H	2899,0	H
3306-3 (3P)	3	623,72	H	2740,9	H
3516-9 GEN	3	41,000	H	4.213,611	H
3516-7 (4P)	3	661,51	H	2582,8	H
3306-4 (1G)	3	699,31	H	2424,7	H
AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACION TRD	3	737,10	H	2266,6	H
VSD TRD10	3	774,90	H	2108,4	H
VSD TRD12	2	812,69	H	1950,3	H
J375-4	2	850,48	H	1792,2	H
CHOKE TRD6	2	888,28	H	1634,1	H
A.A OFICINAS	2	840,000	H	4.367,367	H
VSD TRD8	2	12,500	H	5.477,525	H
GOULD-2-BBA	2	37,000	H	7.012,925	H
3306-4 (1G)	2	19,000	H	7.328,750	H
AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACION TRD	2	14,000	H	10.148,70	
A.A OFICINAS	2	926,07	H	1476,0	H
MISSION/MAGNUM-5 15 HP	2	963,86	H	1317,9	H

3516-12 (2K)	2	1001,66 H	1159,7 H
J375-5 BBA	2	1039,45 H	1001,6 H
3516-9 GEN	1	1077,24 H	843,5 H
J375-8 BBA	1	1115,04 H	685,4 H
GOULD-2-BBA	1	1152,83 H	527,3 H
CHOKE TRD7	1	1568,56 H	1212,0 H
A.A OFICINAS	1	1606,35 H	1370,1 H
MISSION/MAGNUM-5 15 HP	1	1644,15 H	1528,2 H
3516-12 (2K)	1	1681,94 H	1686,4 H
J375-5 BBA	1	1719,73 H	1844,5 H
VSD TRD6	1	13,000 H	4.096,783 H
		1.224,00	10.574,91
CHOKE TRD4	1	0 H	7 H
			17.180,55
MISSION/MAGNUM-5 15 HP	1	150,000 H	0 H
			29.719,68
TABLEROS DE SINCR PLANTAS 3516 TRD-4	1	32,000 H	3 H
J375-9	1	1190,62 H	369,2 H
TABLEROS DE SINCR PLANTAS 3516 TRD-6	1	1228,42 H	211,0 H
3516-11 (2F)	1	1266,21 H	52,9 H
3306-3 (3P)	0	1304,00 H	105,2 H
3516-7 (4P)	0	1341,80 H	263,3 H
3306-4 (1G)	0	1379,59 H	421,4 H
AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACION			
TRD	0	1417,38 H	579,5 H
VSD TRD14	0	1455,18 H	737,7 H
VSD TRD16	0	1492,97 H	895,8 H
J375-5	0	1530,77 H	1053,9 H

Anexo D. Reporte Fallas J375-1

Clase	Año	Grupo	Denominación	Equipo	Descripción	Grupo código	TextoGrpPartObj	Cód.parte obj.	TextoCódPartObj	Grupo códigos	Código avería	TextoCódProblem	Grupo códigos	Causas avería	Txt. cód. mot.	Duración parada	Unidad	Pto.tbjo.resp.
ZD	10077558	TRD	J375-1 BBAME	COL-PMP-NATIO-0099	NSS TRD J375-1 CAMBIO VALVULA	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	4,00	H	ELME
ZD	10065465	TRD	J375-1 BBAME	COL-PMP-NATIO-0099	FLVT RD J375-1 BBA CAMBIO DE VALV	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	1,00	H	ELME
ZD	10080666	TRD	J375-1 BBAME	COL-PMP-NATIO-0099	NSS TRD J375-1 CAMBIO DE VALV	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	4,00	H	ELME
ZD	10075119	TRD	J375-1 BBAME	COL-PMP-NATIO-0099	NSS TRDJ375-1 CAMBIO SELLOS	BOMBA	Bombas	P236	Sellos Ejes Intermedios	DMECANIC	DM05	Fuga de aceite	MECANICA	CM12	Falla de sellado	5,00	H	ELME
ZD	10080308	TRD	J375-1 BBAME	COL-PMP-NATIO-0099	FLVT RD J375-1 BBA CAMBIO SELL	BOMBA	Bombas	P236	Sellos Ejes intermedios	DMECANIC	DM19	Desgaste	MECANICA	CM22	Elemento en falla	8,00	H	ELME
ZD	10080108	TRD	J375-1 BBAME	COL-PMP-NATIO-0099	NSS TRD J375-1 CAMBIO SELLOS	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM12	Falla de sellado	2,00	H	ELME
ZD	10079164	TRD	J375-1 BBAME	COL-PMP-NATIO-0099	NSS TRD J375-1 CAMBIO SELLO S	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM12	Falla de sellado	4,00	H	ELME
ZD	10069954	TRD	J375-1 BBAME	COL-PMP-NATIO-0099	FLVT RD J375-1 CAMBIO SELLOS	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM22	Elemento en falla	2,00	H	ELME
ZD	10067991	TRD	J375-1 BBAME	COL-PMP-NATIO-0099	NSS TRD J375-1 CAMBIO SELLOS	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM05	Fuga de aceite	MECANICA	CM12	Falla de sellado	10,00	H	ELME
ZD	10080135	TRD	J375-1 BBAME	COL-PMP-NATIO-0099	FLVT RD J375-1 CAMBIO SELLOS	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM22	Elemento en falla	11,00	H	ELME
ZD	10068339	TRD	J375-1 BBAME	COL-PMP-NATIO-0099	FLVT RD J375-1 CAMBIO PLUNGER	BOMBA	Bombas	P227	Plungers	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM22	Elemento en falla	2,00	H	ELME
ZD	10077559	TRD	J375-1 BBAME	COL-PMP-NATIO-0099	NSS TRD J375-1 CAMBIO CULATA	BOMBA	Bombas	P217	Culata	DMECANIC	DM19	Desgaste	MECANICA	CM22	Elemento en falla	67,00	H	ELME
ZD	10070063	TRD	J375-1 BBAME	COL-PMP-NATIO-0099	FLVT RD J375-1 CAMBIO STUFFIN	BOMBA	Bombas	P207	Caja de Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM22	Elemento en falla	20,00	H	ELME
ZT	10070014	TRD	J375-1 BBAME	COL-PMP-NATIO-0099	JLH TRD J375-1 CAMBIO OIL POR	BOMBA	Bombas	P201	Aceite	DMECANIC	DM23	Contaminación	MECANICA	CM12	Falla de sellado	4,00	H	ELME

Anexo E. Reporte Fallas J375-2

Clase de aviso	Aviso	Grupo planif.	Denominación	Equipo	Descripción	Grupo código	TextoGrpPartObj	Cód.parte obj.	TextoCódPartObj	Grupo códigos	Código avería	TextoCódProblem	Grupo códigos	Causas avería	Txt. cód. mot.	Duración parada	Unidad	Pto.tbjo.resp.
ZD	10073844	TRD	J375-2 BBA	COL-PMP-NATIO-0102	NSS TRD J375-2 CORRECTIVO FUGA	BOMBA	Bombas	P235	Sellos Conos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM12	Falla de sellado	9,00	H	ELME
ZD	10070827	TRD	J375-2 BBA	COL-PMP-NATIO-0102	NSS TRD J375-2 FUGA POR CONOS	BOMBA	Bombas	P235	Sellos Conos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM12	Falla de sellado	22,00	H	ELME
ZD	10075059	TRD	J375-2 BBA	COL-PMP-NATIO-0102	NSS TRD J375-2 CAMBIO SELLOS TA	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM05	Fuga de aceite	MECANICA	CM12	Falla de sellado	3,00	H	ELME
ZD	10070861	TRD	J375-2 BBA	COL-PMP-NATIO-0102	NSS TRD J375-2 FUGA SELLOS STU	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM12	Falla de sellado	6,00	H	ELME
ZD	10070962	TRD	J375-2 BBA	COL-PMP-NATIO-0102	FLV TRD J375-2 BBA CAMBIO SELLOS	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM22	Elemento en falla	22,00	H	ELME
ZD	10069536	TRD	J375-2 BBA	COL-PMP-NATIO-0102	FLV TRD J375-2 BBA CAMBIO SELLOS	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM22	Elemento en falla	7,00	H	ELME
ZD	10069700	TRD	J375-2 BBA	COL-PMP-NATIO-0102	FLV TRD J375-2 CAMBIO SELLOS ST	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM22	Elemento en falla	5,00	H	ELME
ZD	10079390	TRD	J375-2 BBA	COL-PMP-NATIO-0102	FLV TRD J375-2 FUGA ACEITE: CAMB	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM05	Fuga de aceite	MECANICA	CM12	Falla de sellado	6,00	H	ELME
ZD	10079012	TRD	J375-2 BBA	COL-PMP-NATIO-0102	JLH TRD J375-2 FUGA OIL REDUCTO	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM05	Fuga de aceite	MECANICA	CM12	Falla de sellado	2,00	H	ELME
ZD	10079896	TRD	J375-2 BBA	COL-PMP-NATIO-0102	NSS TRD J375-2 CAMBIO SELLOS ST	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM12	Falla de sellado	3,00	H	ELME
ZD	10077313	TRD	J375-2 BBA	COL-PMP-NATIO-0102	NSS TRD J375-2 CAMBIO REDUCTOR	BOMBA	Bombas	P229	Reductor Bomba de Lubricación	DMECANIC	DM10	Ruido	MECANICA	CM22	Elemento en falla	216,00	H	ELME
ZD	10067994	TRD	J375-2 BBA	COL-PMP-NATIO-0102	NSS TRD J375-2 FUGA POR PLUNGE	BOMBA	Bombas	P256	Empaquetadura	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM12	Falla de sellado	9,00	H	ELME
ZD	10069536	TRD	J375-2 BBA	COL-PMP-NATIO-0102	FLV TRD J375-2 BBA CAMBIO SELLOS	BOMBA	Bombas	P218	Ejes intermedios	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM22	Elemento en falla	7,00	H	ELME
ZD	10076660	TRD	J375-2 BBA	COL-PMP-NATIO-0102	FLV TRD J375-2 REDUC CAMBIO OIL	BOMBA	Bombas	P201	Aceite	DMECANIC	DM23	Contaminación	MECANICA	CM12	Falla de sellado	3,00	H	ELME
ZD	10067994	TRD	J375-2 BBA	COL-PMP-NATIO-0102	NSS TRD J375-2 FUGA POR PLUNGE	BOMBA	Bombas	P201	Aceite	DMECANIC	DM23	Contaminación	MECANICA	CM12	Falla de sellado	9,00	H	ELME

Anexo F. Reporte Fallas J375-3

Clase	Aviso	Grupo planif.	Denominación	Equipo	Descripción	Grupo código	TextoGrpPartiObj	Cód.parte obj.	TextoCódPartiObj	Grupo códigos	Código avería	TextoCódProblem	Grupo códigos	Causas avería	Txt. cód. mot.	Duración parada	Unidad	Pto.tbjo.resp.
ZD	10068036	LGL	J375-3-BBA	COL-PMP-NATIO-0057	NSS LGL J375-3 CAMBIO DE VALVU	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	3,00 H		ELME
ZD	10081246	LGL	J375-3-BBA	COL-PMP-NATIO-0057	FLVLGL J375-3 CAMBIO DE DOS VA	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	1,00 H		ELME
ZD	10080024	LGL	J375-3-BBA	COL-PMP-NATIO-0057	NSS LGL J375-3 CAMBIO LUBRICAD	BOMBA	Bombas	P240	Sistema Lubricación Bomba Reciprocante	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	0,00 H		ELME
ZD	10065075	LGL	J375-3-BBA	COL-PMP-NATIO-0057	FLVLGL J375-3 BBA FUGA SELLO S	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM22	Elemento en falla	8,00 H		ELME
ZD	10071563	LGL	J375-3-BBA	COL-PMP-NATIO-0057	FLVLGL J375-3 CAMBIO SELLOS S	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM22	Elemento en falla	5,00 H		ELME
ZD	10080776	LGL	J375-3-BBA	COL-PMP-NATIO-0057	NSS LGL J375-3 CAMBIO SELLO ST	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM12	Falla de sellado	4,00 H		ELME
ZD	10081064	LGL	J375-3-BBA	COL-PMP-NATIO-0057	FLVLGL J375-3 FUGA ACEITE MAN	BOMBA	Bombas	P229	Reductor Bomba de Lubricación	DMECANIC	DM05	Fuga de aceite	MECANICA	CM22	Elemento en falla	12,00 H		ELME
ZD	10079977	LGL	J375-3-BBA	COL-PMP-NATIO-0057	NSS LGL J375-3 CAMBIO ESPARRA	BOMBA	Bombas	P259	Esparrago	DMECANIC	DM28	Elemento fisurado/roto	MECANICA	CM22	Elemento en falla	4,00 H		ELME
ZD	10077622	LGL	J375-3-BBA	COL-PMP-NATIO-0057	NSS LGL J375-3 FUGA SELLOS CO	BOMBA	Bombas	P215	Conos Succión	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM22	Elemento en falla	8,00 H		ELME
ZD	10066689	LGL	J375-3-BBA	COL-PMP-NATIO-0057	NSS LGL J375-3 CAMBIO BOMBINE	BOMBA	Bombas	P258	Caja de lubricadores por transmission	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	1,00 H		ELME
ZD	10067407	LGL	J375-3-BBA	COL-PMP-NATIO-0057	FLVLGL J375-3 DAÑO CORREAS C	BOMBA	Bombas	P205	Bomba de Lubricación Forzada	DMECANIC	DM28	Elemento fisurado/roto	MECANICA	CM22	Elemento en falla	1,00 H		ELME
ZD	10081046	LGL	J375-3-BBA	COL-PMP-NATIO-0057	FLVLGL J375-3 CAMBIO CADENAL	BOMBA	Bombas	P205	Bomba de Lubricación Forzada	DMECANIC	DM18	Otras	MECANICA	CM22	Elemento en falla	3,00 H		ELME
ZN	10074453	LGL	J375-3-BBA	COL-PMP-NATIO-0057	OAG LGL J375-3 ANALISIS DE LUBR					NDE	ND08	Análisis aceite				1,00 H		ELME

Anexo G. Reporte Fallas J375-4

Clase de	Aviso	Grupo planif.	Denominación	Equipo	Descripción	Grupo códigos	TextoGrpPartObj	Cód. parte obj.	TextoCódPartObj	Grupo códigos	Código avería	TextoCódProblem	Grupo códigos	Causas avería	Txt. cód. mot.	Duración parada	Unidad	Pto. l.bjo.resp.
ZD	10067409	TRD	J375-4 BBA	COL-PMP-NATIO-0106	FLVTRD J375-4 CAMBIO DE VAL	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	3,00	H	ELME
ZD	10075586	TRD	J375-4 BBA	COL-PMP-NATIO-0106	FLVTRD J375-4 FUGA ACEITE E R	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM05	Fuga de aceite	MECANICA	CM22	Elemento en falla	7,00	H	ELME
ZD	10078299	TRD	J375-4 BBA	COL-PMP-NATIO-0106	FLVTRD J375-4 BBA CAMBIO OIL	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM22	Elemento en falla	10,00	H	ELME
ZD	10078299	TRD	J375-4 BBA	COL-PMP-NATIO-0106	FLVTRD J375-4 BBA CAMBIO OIL	BOMBA	Bombas	P227	Plungers	DMECANIC	DM19	Desgaste	MECANICA	CM22	Elemento en falla	10,00	H	ELME
ZD	10078299	TRD	J375-4 BBA	COL-PMP-NATIO-0106	FLVTRD J375-4 BBA CAMBIO OIL	BOMBA	Bombas	P201	Aceite	DMECANIC	DM23	Contaminación	MECANICA	CM12	Falla de sellado	10,00	H	ELME

Anexo H. Reporte Fallas J375-5

Clase de a	Aviso	Grupo planif.	Denominación	Equipo	Descripción	Grupo códigos	TextoGrpPartObj	Cód.parte obj.	TextoCódPartObj	Grupo códigos	Código avería	TextoCódProblem	Grupo códigos	Causas avería	Txt. cód. mot.	Duración parada	Unidad	Pto.tbjo.resp.
ZD	10077949	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NAT IO-0103	FLV TRD J375-5 BBA CAMBIO DE VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	2,00	H	ELME
ZD	10078283	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NAT IO-0103	FLV TRD J375-5 REVISION DE VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	3,00	H	ELME
ZD	10070065	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NAT IO-0103	FLV TRD J375-5 CAMBIO VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	3,00	H	ELME
ZD	10067454	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NAT IO-0103	FLV TRD J375-5 REVISION VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	120,00	H	ELME
ZD	10066934	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NAT IO-0103	FLV TRD J375-5 BBA REVISION VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	8,00	H	ELME
ZD	10081488	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NAT IO-0103	FLV TRD J375-5 BBA REVISION VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM28	Elemento fisurado/roto	MECANICA	CM22	Elemento en falla	1,50	H	ELME
ZD	10080866	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NAT IO-0103	NSS TRD J375-5 CAMBIO SELLOS CONOS CULAT	BOMBA	Bombas	P235	Sellos Conos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM12	Falla de sellado	5,00	H	ELME
ZD	10077314	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NAT IO-0103	NSS TRD J375-5 CAMBIO SELLOS STUFF BOX	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM12	Falla de sellado	6,00	H	ELME
ZD	10081125	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NAT IO-0103	FLV TRD J375-5 BBA FUGA CONOS	BOMBA	Bombas	P233	Sello Mecánico	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM22	Elemento en falla	84,00	H	ELME
ZD	10067454	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NAT IO-0103	FLV TRD J375-5 REVISION VALVULAS	BOMBA	Bombas	P217	Culata	DMECANIC	DM19	Desgaste	MECANICA	CM22	Elemento en falla	120,00	H	ELME
ZD	10079666	TRD	J375-5 BBA	COL-PMP-NAT IO-0103	FLV TRD J375-5 CAMBIO CULATA DERECHA Y C	BOMBA	Bombas	P217	Culata	DMECANIC	DM08	Humo	MECANICA	CM22	Elemento en falla	34,00	H	ELME

Anexo I. Reporte Fallas J375-6

Clase de Aviso	Grupo planif.	Denominación	Equipo	Descripción	Grupo código	TextoGrpPartObj	Cód.parte obj.	TextoCódPartObj	Grupo códigos	Código avería	TextoCódProblem	Grupo códigos	Causas avería	Txt. cód. mot.	Duración parada	Unidad	Pto.tboj.resp.	
ZD	10071893	TRD	J375-6 BBA	COL-PMP-NATIO-0104	NSS TRD J375-6 CAMBIO DE VALVULA	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	2.00	H	ELME
ZD	10077688	TRD	J375-6 BBA	COL-PMP-NATIO-0104	JLH TRD J375-6 CAMBIO VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	6.00	H	ELME
ZD	10075122	TRD	J375-6 BBA	COL-PMP-NATIO-0104	NSS TRD J375-6 REPARAR CADENALL	BOMBA	Bombas	P240	Sistema Lubricación Bomba Reciprocante	DMECANIC	DM28	Elemento fisurado/roto	MECANICA	CM22	Elemento en falla	2.00	H	ELME
ZD	10066938	TRD	J375-6 BBA	COL-PMP-NATIO-0104	FLV TRD J375-6 BBA ALTO CONSUMO	BOMBA	Bombas	P236	Sellos Ejes intermedios	DMECANIC	DM05	Fuga de aceite	MECANICA	CM12	Falla de sellado	4.00	H	ELME
ZD	10072234	TRD	J375-6 BBA	COL-PMP-NATIO-0104	NSS TRD J375-6 CAMBIO SELLO REDU	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM05	Fuga de aceite	MECANICA	CM12	Falla de sellado	3.00	H	ELME
ZT	10065166	TRD	J375-6 BBA	COL-PMP-NATIO-0104	FLV TRD J375-6 BBA CAMBIO PLUNGE	BOMBA	Bombas	P227	Plungers	DMECANIC	DM18	Otras	MECANICA	CM20	Otras	7.00	H	ELME
ZD	10067297	TRD	J375-6 BBA	COL-PMP-NATIO-0104	FLV TRD J375-6 BBA CAMBIO SELLOS	BOMBA	Bombas	P218	Ejes intermedios	DMECANIC	DM14	Fuga de refrigerante	MECANICA	CM22	Elemento en falla	4.00	H	ELME
ZD	10066938	TRD	J375-6 BBA	COL-PMP-NATIO-0104	FLV TRD J375-6 BBA ALTO CONSUMO	BOMBA	Bombas	P218	Ejes intermedios	DMECANIC	DM05	Fuga de aceite	MECANICA	CM22	Elemento en falla	4.00	H	ELME
ZD	10079506	TRD	J375-6 BBA	COL-PMP-NATIO-0104	FLV TRD J375-6 CORRECTIVO SKID R	BOMBA	Bombas	P210	Casquetería	DMECANIC	DM19	Desgaste	MECANICA	CM22	Elemento en falla	504.00	H	ELME
ZD	10075583	TRD	J375-6 BBA	COL-PMP-NATIO-0104	TRD J375-6 CAMBIO PIÑON BOMBALL	BOMBA	Bombas	P205	Bomba de Lubricación Forzada	DMECANIC	DM28	Elemento fisurado/roto	MECANICA	CM22	Elemento en falla	3.00	H	ELME

Anexo J. Reporte Fallas J375-7

Clase de aviso	Aviso	Grupo planif.	Denominación	Equipo	Descripción	Grupo código	TextoGrpPartObj	Cód.parte obj.	TextoCódPartObj	Grupo códigos	Código avería	TextoCódProblem	Grupo códigos	Causas avería	Txt. cód. mot.	Duración parada	Unidad	Pto.tjpo.resp.
ZD	10073876	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	NSS TRD J375-7 CAMBIO VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	1.00	H	ELME
ZD	10074081	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	FLV TRD J375-7 CAMBIO VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	1.50	H	ELME
ZD	10073551	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	NSS TRD J375-7 CAMBIO DE VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	2.00	H	ELME
ZD	10065909	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	NSS TRD J375-7 CAMBIO DE VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	6.00	H	ELME
ZD	10081135	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	FLV TRD J375-7 CAMBIO DE VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	1.50	H	ELME
ZD	10081527	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	FLV TRD J375-7 BBA CAMBIO DE VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	1.50	H	ELME
ZD	10079908	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	NSS TRD J375-7 REVISION VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	1.50	H	ELME
ZD	10080838	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	AHB TRD J375-7 BBA REVISION VALVULAS	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM12	Falla de sellado	3.00	H	ELME
ZD	10075312	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	NSS SAD J375-7 CAMBIO MANGUERAS	BOMBA	Bombas	P240	Sistema Lubricación Bomba Reciprocante	DMECANIC	DM05	Fuga de aceite	MECANICA	CM21	Presión de lubricación	1.00	H	ELME
ZD	10070588	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	NSS TRD J375-7 CAMBIO CADENA LUBRICACION	BOMBA	Bombas	P240	Sistema Lubricación Bomba Reciprocante	DMECANIC	DM28	Elemento fisurado/roto	MECANICA	CM22	Elemento en falla	1.00	H	ELME
ZD	10080107	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	NSS TRD J375-7 REPARAR SIST LUBRICACION	BOMBA	Bombas	P240	Sistema Lubricación Bomba Reciprocante	DMECANIC	DM24	Desajuste	MECANICA	CM22	Elemento en falla	6.00	H	ELME
ZD	10067746	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	NSS TRD J375-7 FUGA CAMISA CULAS	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM12	Falla de sellado	5.00	H	ELME
ZD	10079895	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	NSS TRD J375-7 CAMBIO 1 PLUNGE	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM12	Falla de sellado	6.00	H	ELME
ZD	10079363	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	FLV TRD J375-7 CAMBIO SELLO CULAS	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM12	Falla de sellado	5.00	H	ELME
ZD	10079895	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	NSS TRD J375-7 CAMBIO 1 PLUNGE	BOMBA	Bombas	P227	Plungers	DMECANIC	DM19	Desgaste	MECANICA	CM22	Elemento en falla	6.00	H	ELME
ZD	10072416	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	FLV TRD J375-7 CAMBIO EJES INTERMEDIOS	BOMBA	Bombas	P218	Ejes intermedios	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM22	Elemento en falla	7.00	H	ELME
ZD	10076661	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	FLV TRD J375-7 CAMBIO CADENA DE LUBRICACION	BOMBA	Bombas	P205	Bomba de Lubricación Forzada	DMECANIC	DM28	Elemento fisurado/roto	MECANICA	CM22	Elemento en falla	2.00	H	ELME
ZD	10070963	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	FLV TRD J375-7 BBA CAMBIO BBA LUBRICACION	BOMBA	Bombas	P205	Bomba de Lubricación Forzada	DMECANIC	DM19	Desgaste	MECANICA	CM22	Elemento en falla	4.00	H	ELME
ZN	10076817	TRD	J375-7 BBA	COL-PMP-NAT IO-0105	OAG TRD J375-7 ANÁLISIS DE LUBRICACION					NDE	ND08	Análisis aceite				2.50	H	ELME

Anexo K. Reporte Fallas J375-8

Clase de aviso	Aviso	Grupo planif.	Denominación	Equipo	Descripción	Grupo código	TextoGrpPartObj	Cód parte obj.	TextoCódPartObj	Grupo códigos	Código avería	TextoCódProblem	Grupo códigos	Causas avería	Txt. cód. mot.	Duración parada	Unidad	Pto.tbjo.resp.
ZD	10077948	TRD	J375-8 BBA	COL-PMP-NATIO-0055	FLV TRD J375-8 BBA CAMBIO DE VALV	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM27	Baja eficiencia	MECANICA	CM22	Elemento en falla	2,00	H	ELME
ZD	10066755	TRD	J375-8 BBA	COL-PMP-NATIO-0055	NSS TRD J375-8 CAMBIO DE VALV	BOMBA	Bombas	P248	Valvulas de Succión y Descarga	DMECANIC	DM28	Elemento fisurado/rotob	MECANICA	CM24	Fauna	7,00	H	ELME
ZD	10068550	TRD	J375-8 BBA	COL-PMP-NATIO-0055	FLV TRD J375-8 CAMBIO SELLOS	BOMBA	Bombas	P236	Sellos Ejes intermedios	DMECANIC	DM05	Fuga de aceite	MECANICA	CM22	Elemento en falla	48,00	H	ELME
ZD	10069417	TRD	J375-8 BBA	COL-PMP-NATIO-0055	NSS TRD J375-8 FUGA SELLO ST	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM12	Falla de sellado	3,00	H	ELME
ZD	10066601	TRD	J375-8 BBA	COL-PMP-NATIO-0055	NSS TRD J375-8 FUGA DE ACEITE	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM05	Fuga de aceite	MECANICA	CM12	Falla de sellado	30,00	H	ELME
ZD	10081075	TRD	J375-8 BBA	COL-PMP-NATIO-0055	TRD J375-8 CAMBIO DE PLUNGER	BOMBA	Bombas	P234	Sellos	DMECANIC	DM04	Fuga de agua	MECANICA	CM22	Elemento en falla	67,00	H	ELME
ZD	10081075	TRD	J375-8 BBA	COL-PMP-NATIO-0055	TRD J375-8 CAMBIO DE PLUNGER	BOMBA	Bombas	P227	Plungers	DMECANIC	DM19	Desgaste	MECANICA	CM22	Elemento en falla	67,00	H	ELME
ZD	10079050	TRD	J375-8 BBA	COL-PMP-NATIO-0055	NSS TRD J375-8 GOLPETEO: OBS					DMECANIC	DM10	Ruido	MECANICA	CM20	Otras	2,00	H	ELME
ZN	10074224	TRD	J375-8 BBA	COL-PMP-NATIO-0055	OAG TRD J375-8 ANALISIS DE LUE					NDE	ND08	Análisis aceite				0,00	H	ELME
ZN	10079603	TRD	J375-8 BBA	COL-PMP-NATIO-0055	OAG TRD J375-8 R ANALISIS DE LU					NDE	ND08	Análisis aceite				5,00	H	ELME
ZN	10079608	TRD	J375-8 BBA	COL-PMP-NATIO-0055	OAG TRD J375-8 ANALISIS DE LUE					NDE	ND08	Análisis aceite				7,00	H	ELME

Anexo L. Reporte Fallas Caterpillar 3516-5

Clase de	Aviso	Grupo planif.	Denominación	Equipo	Descripción	Grupo códigos	TextoGrpPartObj	Cód parte obj.	TextoCódPartObj	Grupo códigos	Código avería	TextoCódProblem	Grupo códigos	Causas avería	Txt. cód. mot.	Duración parada	Unidad	Pto.tbjo.resp.
ZD	10068061	TRD	3516-5 (2J)	COL-ENG-CAT -0132	NSS TRD 3516-5 CAMBIO DE BATERIAS	MOT-T TERM	Motor térmico	P907	Bobinas	DELECTRI	DE11	No generacion	ELECTRIC	CE17	Sobrecarga	2,00	H	ELME
ZD	10068061	TRD	3516-5 (2J)	COL-ENG-CAT -0132	NSS TRD 3516-5 CAMBIO DE BATERIAS	MOT-T TERM	Motor térmico	P905	Baterias	DELECTRI	DE11	No generacion	ELECTRIC	CE14	Elemento en falla	2,00	H	ELME
ZD	10079504	TRD	3516-5 (2J)	COL-ENG-CAT -0132	FLV TRD 3516-5 CAMBIO 4 BATERIAS	MOT-T TERM	Motor térmico	P905	Baterias	DMECANIC	DM21	Problemas arranque	MECANICA	CM22	Elemento en falla	2,00	H	ELME
ZD	10077439	TRD	3516-5 (2J)	COL-ENG-CAT -0132	JLH TRD 3516-5 SINCRONIZAR POR NITRACION					DMECANIC	DM18	Otras	OTHERS	CO04	Otras	1,00	H	ELME
ZD	10066079	TRD	3516-5-GEN	COL-GEN-CAT -0047	NSS TRD 3516-5 CAMBIO TARJETA 2301A	GENERADO	Generador	P020	Sistema de Control	DELECTRI	DE12	Otras	ELECTRIC	CE14	Elemento en falla	6,00	H	ELME
ZD	10076395	TRD	3516-5-GEN	COL-GEN-CAT -0047	NSS TRD 3516-5 AJUSTES VOLTAJE					DMECANIC	DM29	Oscilacion	ELECTRIC	CE15	Calibración	1,50	H	ELME

Anexo M. Reporte Fallas Caterpillar 3516-6

Clase de a	Aviso	Grupo planif.	Denominación	Equipo	Descripción	Grupo códigos	TextoGrpPartObj	Cód.parte obj.	TextoCódPartObj	Grupo códigos	Código avería	TextoCódProblem	Grupo códigos	Causas avería	Txt. cód. mot.	Duración parada	Unidad	Pto.tbjo.resp.
ZD	10069421	TRD	3516-6 (2G)	COL-ENG-CAT -0135	NSS TRD 3516-6 CAMBIO DE CORREAS	MOT-TERM	Motor térmico	P928	Correas	DMECANIC	DM19	Desgaste	MECANICA	CM22	Elemento en falla	6.50	H	ELME
ZD	10079505	TRD	3516-6 (2G)	COL-ENG-CAT -0135	FLVTRD 3516-6 CAMBIO DE CORREAS	MOT-TERM	Motor térmico	P928	Correas	DMECANIC	DM28	Elemento fisurado/roto	MECANICA	CM22	Elemento en falla	3.00	H	ELME
ZD	10077962	TRD	3516-6 (2G)	COL-ENG-CAT -0135	FLVTRD 3516-6 CAMBIO DE BATERIA	MOT-TERM	Motor térmico	P905	Baterias	DMECANIC	DM21	Problemas arranque	MECANICA	CM22	Elemento en falla	1.00	H	ELME
ZD	10070457	TRD	3516-6-GEN	COL-GEN-CAT -0048	NSS TRD 3516-6 CAMBIO 2 CT Y POTEN	GENERADO	Generador	P025	Transformador de	DELECTRI	DE11	No generacion	ELECTRIC	CE14	Elemento en falla	10.00	H	ELME
ZD	10068234	TRD	3516-6-GEN	COL-GEN-CAT -0048	FLVTRD 3516-6 REVISION BREAKER PRIN	GENERADO	Generador	P011	Interruptor Principa	DELECTRI	DE07	Regulación de corriente	ELECTRIC	CE15	Calibración	2.00	H	ELME

Anexo N. Reporte Fallas Caterpillar 3516-10

Clase de #Aviso	Grupo planif.	Denominación	Equipo	Descripción	Grupo códigos	TextoGrpPartiObj	Cód.parte obj.	TextoCódPartiObj	Grupo códigos	Código avería	TextoCódProblem	Grupo códigos	Causas avería	Txt. cód. mot.	Duración parada	Unidad	Pto.tbjo.resp.	
ZD	10078059	TRD	3516-10 (2)	COL-ENG-CAT -0133	FLVTRD 3516-10 CAMBIO TURBO PROX SERV	MOT-TERM	Motor térmico	P987	Turbo Cargador	DMECANIC	DM19	Desgaste	MECANICA	CM22	Elemento en falla	2,00	H	ELME
ZD	10078977	TRD	3516-10 (2)	COL-ENG-CAT -0133	JLH TRD 3516-10 CAMBIO TURBO OSCILACION	MOT-TERM	Motor térmico	P987	Turbo Cargador	DMECANIC	DM29	Oscilacion	MECANICA	CM22	Elemento en falla	2,50	H	ELME
ZD	10081172	TRD	3516-10 (2)	COL-ENG-CAT -0133	FLVTRD 3516-10 SHUT DOWN: DAÑO TURBO	MOT-TERM	Motor térmico	P987	Turbo Cargador	DMECANIC	DM28	Elemento fisurado/roto	MECANICA	CM22	Elemento en falla	1,00	H	ELME
ZD	10081172	TRD	3516-10 (2)	COL-ENG-CAT -0133	FLVTRD 3516-10 SHUT DOWN: DAÑO TURBO	GENERADO	Generador	P013	Regulador de Voltaje	DELECTRI	DE07	Regulación de corriente	ELECTRIC	CE14	Elemento en falla	1,00	H	ELME
ZD	10079011	TRD	3516-10 (2)	COL-ENG-CAT -0133	JLH TRD 3516-10 SINCRONIZACION	MOT-TERM	Motor térmico	P993	Otros	DMECANIC	DM29	Oscilacion	MECANICA	CM09	Sistema de combustible defectuoso	2,00	H	ELME
ZD	10076547	TRD	3516-10 (2)	COL-ENG-CAT -0133	FLVTRD 3516-10 REALIZAR SINCRONIZACION	MOT-TERM	Motor térmico	P930	Culata	DMECANIC	DM06	Pérdida de potencia	MECANICA	CM23	Calibración	4,00	H	ELME
ZD	10066937	TRD	3516-10 (2)	COL-ENG-CAT -0133	FLVTRD 3516-10 CAMBIO DE CORREAS	MOT-TERM	Motor térmico	P928	Correas	DMECANIC	DM28	Elemento fisurado/roto	MECANICA	CM22	Elemento en falla	2,00	H	ELME
ZP	10069316	TRD	3516-10 (2)	COL-ENG-CAT -0133	5.000 H - SERVICIO MANTTO C0002032						DO01	Otras	OTHERS	CO04	Otras	8,00	H	ELME
ZD	10073866	TRD	3516-10 GEN	COL-GEN-CAT -0049	JLH TRD 3516-10 DAÑO ROTOR EXCITACION	GENERADO	Generador	P017	Rotor Excitación	DELECTRI	DE04	Sobrecarga	ELECTRIC	CE17	Sobrecarga	14,00	H	ELME
ZD	10065257	TRD	3516-10 GEN	COL-GEN-CAT -0049	FLVTRD 3516-10 SHUT DWON MODULO CONTR	GENERADO	Generador	P030	Otros	DELECTRI	DE02	Regulación de voltaje	ELECTRIC	CE15	Calibración	46,00	H	ELME
ZD	10068361	TRD	3516-10 GEN	COL-GEN-CAT -0049	FLVTRD 3516-10 GEN REVISION ACC BREAKER	GENERADO	Generador	P011	Interruptor Principal	DELECTRI	DE12	Otras	MECANICA	CM23	Calibración	1,00	H	ELME
ZD	10071132	TRD	3516-10 GEN	COL-GEN-CAT -0049	FLVTRD 3516-10 REVISION BREAKER PRINCIP					DELECTRI	DE04	Sobrecarga	ELECTRIC	CE14	Elemento en falla	4,00	H	ELME